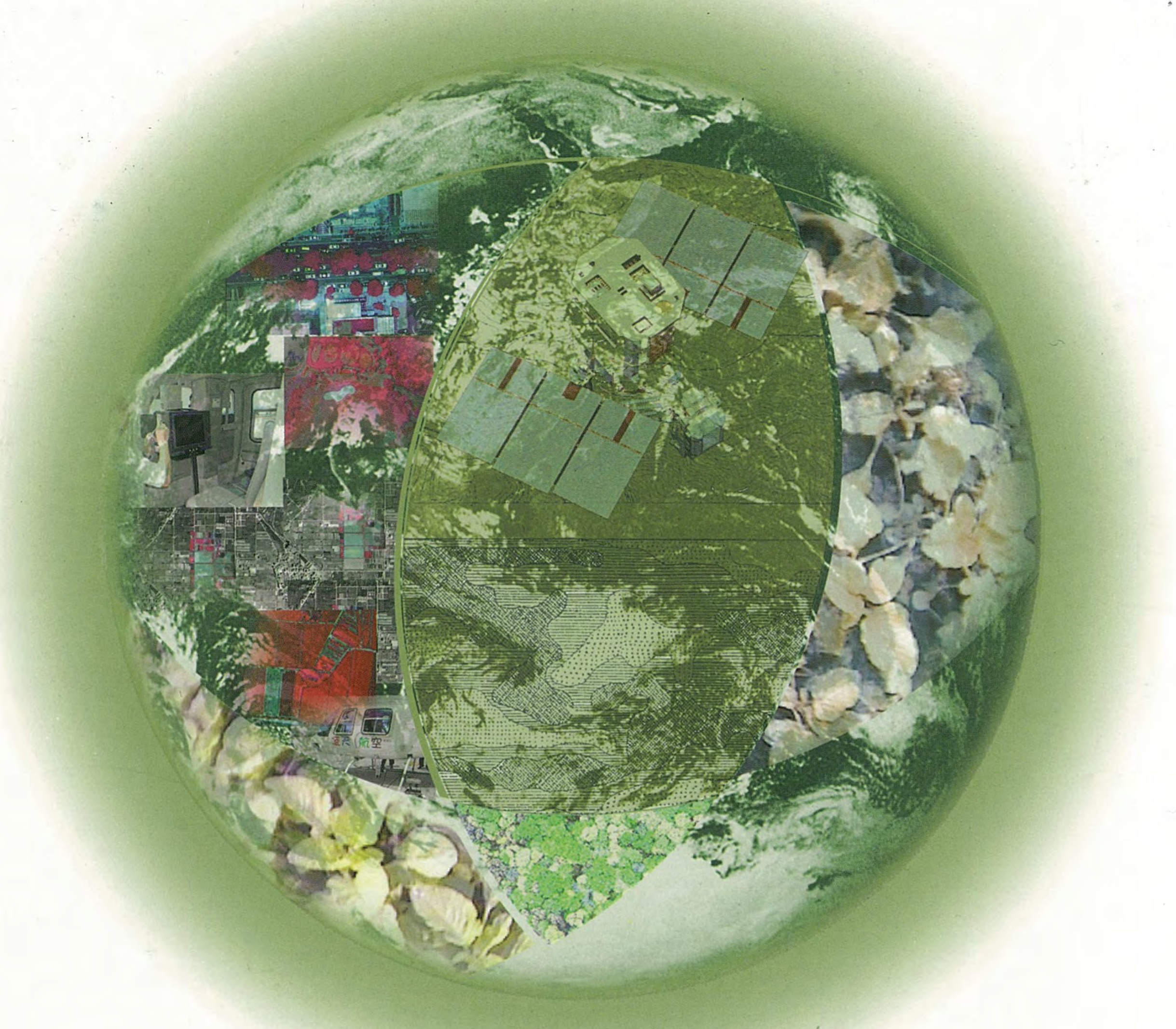
農業氣象災害調查與防護技術



楊純明
林俊義 主編

中華農業氣象學會
行政院農委會農業試驗所

農業氣象災害調查與防護技術

Agricultural Climatic Disasters Survey and Protection Techniques

行政院農業委員會農業試驗所圖書館

ISBN 957-99870-7-6

農業氣象災害調查與防護技術

楊純明
林俊義 主編

本書收錄於 2003 年 10 月 8 日假國立中興大學農藝學系作物大樓國際會議廳
舉行之「農業氣象災害調查與防護技術」研討會發表之論文

本書承蒙行政院農業委員會中部辦公室經費補助，特以致謝。

中華農業氣象學會
行政院農委會農業試驗所

中華民國九十二年十月

ISBN 957-99870-7-6

Agricultural Climatic Disasters Survey and Protection Techniques

Edited by

Chwen-Ming Yang, Ph.D.
Senior Agronomist / Research Fellow
Division of Agronomy
Agricultural Research Institute
Council of Agriculture

Chien-Yih Lin, Ph.D.
Plant Pathologist
Director General
Agricultural Research Institute
Council of Agriculture

Published by

Chinese Society of Agrometeorology

Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

October, 2003

國家圖書館出版品預行編目資料

農業氣象災害調查與防護技術

/楊純明、林俊義，主編. -- 初版. –

臺中縣霧峰鄉：中華農業氣象學會，行政院農委會農業試驗所,

2003[民 92]

182 面: 19*26 公分

ISBN 957-99870-7-6(精裝)

1.農業氣象災害-調查技術-防護技術

農業氣象災害調查與防護技術

發行人 / 林俊義

編　者 / 楊純明　林俊義

出版者 / 中華農業氣象學會，行政院農委會農業試驗所

地　址 / 臺中縣霧峰鄉 41301 萬豐村中正路 189 號

電　話 / 04-2330-2301，傳　眞/04-2333-8162

網　址 / http://www.tari.gov.tw

印刷廠 / 學安文化事業有限公司
臺中市南區仁和二街 78 號，電話: 04-2286-1600

出版年月 / 2003 年 10 月

版　次 / 初版

展售處 / 三民書局，臺北市重慶南路一段 62 號 02-2361-7511
國家書坊台視總店，台北市八德路三段 10 號 02-2578-1515 轉 643
五南文化廣場，臺中市中山路 2 號 04-2226-0330
新進圖書廣場，彰化市光復路 177 號 04-725-2792
青年書局，高雄市青年一路 141 號 07-332-4910

售　價 / 400 元

ISBN: 957-99870-7-6

Chinese Society of Agrometeorology
189 Chung-Cheng Road
Wufeng, Taichung Hsien 41301
Taiwan, Republic of China

Agricultural Research Institute

Council of Agriculture, the Executive Yuan
189 Chung-Cheng Road
Wufeng, Taichung Hsien 41301
Taiwan, Republic of China

Tel: +886-4-2330-2301
Fax: +886-4-2333-8162
Email: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
Web site: www.tari.gov.tw

Tel: +886-4-2330-2301 ext.135
Fax: +886-4-2339-6057
Email: csam@wufeng.tari.gov.tw
Web site: www.csam.tari.gov.tw

Copyright © 2003 Chinese Society of Agrometeorology
Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

All Rights Reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronically, mechanically, by photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the copyright owner.

ISBN 957-99870-7-6

Printed in Taiwan, Republic of China, by by Shyue-An Press, Taichung, Taiwan, ROC

目錄

作者 ---------- ix

序 ---------- 林俊義 xi

前言 ---------- 林俊義、楊純明 xii

氣象因子對農林害蟲發生的影響
---------- *朱耀沂、鄭清煥* 1

氣象因素與植物病害流行關係之監測與分析
---------- *黃益田* 11

園藝作物天然災害損害率客觀指標及復育措施
---------- *楊正山* 35

局地之低溫氣象災害調查
---------- *徐森雄、唐琦* 49

水稻旱害遙感探測技術
---------- *申雍、章國威* 57

機載多譜影像系統偵測作物淹水災害之研究
---------- *劉治中、廖子毅、陳大科* 65

利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態
---------- *楊純明* 79

寄接梨寒霜害防護方法
---------- *李炳和、廖志翔、申雍* 93

澎湖地區無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響
---------- *韓青梅* 103

茶樹旱害與焚風害防護方法
---------- *鄭混元* 113

蓮霧寒害預防之研究
---------- *賴榮茂* 127

蓮霧低溫寒害之防護
---------- *黃基倬、王德男* 135

颱風後縮短葉菜類蔬菜供應市場時間之品種研究
---------- *王三太、王毓華、林子凱、王振昌、蕭吉雄* 145

土壤水分境況對土壤及水稻生育之影響
---------- *李健捀、陳世雄* 153

水稻田水資源及水分利用效率之探討
---------- *姚銘輝、漆匡時* 167

Contents

Contributors ---------- x

Preface ---------- xi

Foreword ---------- xii

The Influence of Meteorological Factors on the Abundance of Agro-Forest Insect
Yau-I Chu and Ching-Huan Cheng ---------- 1

Analysis and Monitoring of the Relations of Meteorological Factors to Plant Disease Epidemics
Yih-Tyang Huang ---------- 11

Objective Indication of Damage Rate in Natural Disasters and Reconversion Measures for Horticultural Crops
Cheng-Shan Yang ---------- 35

Investigation of Low Temperature Disaster in Local Area
Sen-Hsiung Hsu and Chi Tang ---------- 49

Classification of Extent and Degree of Drought Stressed Rice by Remote Sensing techniques
Yuan Shen and Kuo-Wei Chang ---------- 57

A Multispectral Imaging System for Assessing Crop Inundant Damage
Chi-Chnung Lau, Tzu-yi Liao and Dah-ko Chen ---------- 65

Using Spectral Remote Sensing to Monitoring Water-logging Status of *Amaranthus mangostan*
Chwen-Ming Yang ---------- 79

Cold Damage Protection Techniques for Grafted-Pear
Ping-Ho Lee, Chih-Hsiang Liao and Yuan Shen ---------- 93

Change of Microclimate under Athel Tamarisk Windbreak and Its Effect on the Production of Gourd Crops in Penghu Area
Ching-Mei Han ---------- 103

Drought and Foehn Injury Protection Method for Tea Tree
Hun-Yuan Cheng ---------- 113

Studies on the prevention of chilling injury in wax apple
Jung Mao Lai ---------- 127

Protection Methods of Chilling Injury for Wax-apple
Ji-Jwo Huang and Der-Nan Wang ---------- 135

Improving Shortage of Leafy Vegetable Supply after Typhoon by Using New Cultivar
San-Tai Wang, Yu-Hua Wang, Tze-Kai Lin, Jenn-Cheng Wang and Chi-Hsiung Hsiao ---------- 145

Soil and Growth of Rice as Affected by Soil Moisture Regime
Jiann-Feng Lee and Shih-Shiung Chen ---------- 153

Study of Water Resource and Water Use Efficiency in Paddy Field
Ming Hwi Yao and Kung Shy Chi ---------- 167

Index ---------- 181

作者

王三太，行政院農業委員會農業試驗所園藝組

王振昌，農興貿易有限公司

王毓華，行政院農業委員會農業試驗所園藝組

王德男，行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

申　雍，國立中興大學土壤環境科學系

朱耀沂，國立台灣大學昆蟲學系

李炳和，交通部中央氣象局嘉義氣象站

李健摿，行政院農業委員會臺中區農業改良場作物改良課

林子凱，行政院農業委員會農業試驗所園藝組

姚銘輝，行政院農業委員會農業試驗所農工組

徐森雄，國立屏東科技大學水土保持學系

唐　琦，國立屏東科技大學水土保持學系

陳大科，工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室

陳世雄，國立中興大學農藝學系

章國威，國立中興大學土壤環境科學系

黃益田，行政院農委會桃園區農業改良場

黃基倬，行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所

楊正山，行政院農業委員會臺東區農業改良場斑鳩分場

楊純明，行政院農業委員會農業試驗所農藝組

漆匡時，行政院農業委員會農業試驗所農工組

鄭清煥，行政院農業委員會農業試驗所嘉義農試分所植保系

鄭混元，行政院農業委員會茶業改良場臺東分場

廖子毅，工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室

劉治中，工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室

廖志翔，交通部中央氣象局第三組農業氣象科

賴榮茂，行政院農業委員會高雄區農業改良場作物改良課

蕭吉雄，行政院農業委員會苗繁殖改良場

韓青梅，行政院農業委員會高雄區農業改良場澎湖分場

Contributors

Kuo-Wei Chang, Department of Soil and Environmental Sciences, National. Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

Dah-ko Chen, Geospacial Information Technology Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan, ROC

Ching-Huan Cheng, Chiayi Branch Station, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Chiayi, Taiwan, ROC

Hun-Yuan Cheng, Taitung Branch, Tea Research and Extension Station, Council of Agriculture, Taitung, Taiwan, ROC

Kung-Shy Chi, Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Yau-I Chu, Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC

Ching-Mei Han, Ponghu Branch, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Ponghu, Taiwan, ROC

Chi-Hsiung Hsiao, Seed Improvement and Propagation Station, Council of Agriculture, Hsinshe, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Sen-Hsiung Hsu, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan, ROC

Ji-Jwo Huang, Department of Tropical Fruit Tree, Fengshan Branch Station, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Fengshan, Taiwan, ROC.

Yih-tyang Huang, Taoyuan District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Taoyuan, Taiwan, ROC

Jung Mao Lai, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Pingtung, Taiwan, ROC

Chi-Chnung Lau, Geospacial Information Technology Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan, ROC

Ping-Ho Lee, Chiayi Branch Station, Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communication, Taipei, Taiwan, ROC

Chih-Hsiang Liao, Third Division, Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communication, Taipei, Taiwan, ROC

Tzu-yi Liao, Geospacial Information Technology Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan, ROC

Tze-Kai Lin, Division of Horticulture, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Yuan Shen, Department of Soil and Environmental Sciences, National. Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan ROC

Chi Tang, Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan, ROC

Der-Nan Wang, Department of Tropical Fruit Tree, Fengshan Branch Station, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Fengshan, Taiwan, ROC.

Jenn-Cheng Wang, Agrnew Trading Co., LTD, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

San-Tai Wang, Division of Horticulture, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Yu-Hua Wang, Division of Horticulture, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Cheng-Shan Yang, Ban-Jou Branch Station, Taitung District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Taitung, Taiwan, ROC

Chwen-Ming Yang, Division of Agronomy, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

Ming-Hwi Yao, Division of Agricultural Engineering, Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan, ROC

序

氣象環境是地表生物的主要生存空間之一，生物的日常作息、生長表現與生殖行爲等概受到氣象變化的影響。近百年來的氣象環境和過去千萬年的氣象情境已有相當的不同，追根究源其操縱力量竟然來自於人類的活動及文明的進展，而且遠超過大自然界的規則性律動。人類爲了擴張勢力而繁殖族群，砍伐森林、焚毀植物、超用極限地等以大量的開疆闢土，又過量使用如肥料農藥等人造化學品，以增加糧食生產滿足人口成長的需求。也開發石化、水力、地熱及核能等資源，以提供推動各種產業運轉的動能，採用消耗石化能源的機械、載具、車輛及飛行器等物件，作爲實現人類私心的御用工具。並氾濫工商產品的製造，以增進人類生活上的舒適和外表上的虛榮。於是乎造成近年來喧騰不絕的諸如溫室效應、氣候變遷、臭氧層稀薄、聖嬰頻率失調等異常氣象現象，以及人們賴以生存與生活的地表空間逐漸惡化的環保問題，並因此危及到農業的正常生產和永續發展。

中華農業氣象學會有鑑於氣象與農業關係議題的重要性，乃大力促進和推動國內農業氣象學術及事業發展，每年並舉辦學術活動及出版專業書冊，提供專業人員發表研究成果的平台。臺灣地區由於特殊的地理位置及地形條件，氣象災害種類甚多，而氣象災害頻傳。加上當前全球氣候變遷的加速進行，使得氣候的變化更難預料，異常天氣的發生也更加頻繁。爲了裝備國內從事農業生產人員對氣象災害因應的知識與技術，提升試驗研究人員對氣象災害調查與防護技術研發的水準，在行政院農業委員會中部辦公室的部分經費補助，農委會農業試驗所的積極配合，以及國立中興大學農藝學系的全力協助之下，於是共同辦理『氣象災害調查與防護技術研討會』。

本次研討會涵蓋多項主題，從氣象因子對農作物害蟲發生、病害流行的影響與關係探討，災害(旱害、水害、風害、低溫)的調查與指標的訂定，直到防護技術與復育措施的成效評估等，均有著墨及豐富資訊發表。所邀請的專家學者皆爲各專業領域的佼佼者，分別貢獻出多年研究的成果、經驗與心得，本書即爲研討會論文彙編而成，頗値得各界閱讀和參採。謹此爲序。

林俊義

中華農業氣象學會理事長/

農業委員會農業試驗所所長

2003 年 10 月

前言

本書收錄於民國九十二年十月八日假國立中興大學農藝學系作物大樓國際會議廳舉行之「農業氣象災害調查與防護技術」研討會發表之論文，依照標準格式彙編而成。全書計有十五篇論文，由邀請的專家學者撰寫，涵蓋的內容如研討會主題，均在農業氣象災害調查與防護技術範疇，十分豐富而多元。由於作者們皆爲其專業領域的傑出人士，論文或爲多年研究的成果、或爲文獻總匯，亦融合個人的寶貴經驗與心得，值得推薦給學術各界閱讀和參考。

本書第一篇論文名稱爲『氣象因子對農林害蟲發生的影響』，由臺灣大學昆蟲學系朱耀沂教授和農委會農業試驗所嘉義分所植保系鄭清煥研究員精心彙整，分爲以沙漠飛蝗介紹大氣候條件對其發生與遷移影響及大螳螂產卵場所的關係，又從山毛櫸天社蛾之發生介紹氣象因子對其發生規律及寄主植物成分變化關係，從斜紋夜盜、舞蛾等捕食性天敵活動陳述氣象因子的間接影響，再以遺棄物溫度變化說明對昆蟲棲所微氣候條件之直接作用及發育與活動之間接控制。第二篇論文『氣象因素與植物病害流行關係之監測與分析』，由農委會桃園區農業改良場黃益田副場長撰寫，主要探討有關氣象因素與植物病害流行之監測技術與其資料之分析。第三篇論文『園藝作物天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施』，由農委會臺東區農業改良場斑鳩分場的楊正山主任主筆，介紹前臺灣省政府農林廳建立園藝作物天然災害損害率之客觀指標經過，也提供若干災害防範及因應措施，作爲政府及農民參考。

第四篇至第七篇爲氣象災害調查技術，第四篇論文『局地之低溫氣象災害調查』，由屏東科技大學水土保持學系徐森雄教授和唐琦講師合寫，針對局地低溫發生機制闡述利用地形圖與航空相片來推測霜害危險度及利用儀器進行定點或移動觀測的方法，使得能夠對農地微氣候形成過程更爲清楚瞭解。第四篇論文『水稻旱害遙感探測技術』，由中興大學土壤環境科學系申雍教授和章國威博士共同著作，推介遙測影像的利用以判別遭受旱害影響的水稻面積和受影響程度，來提高對於水資源調配、稻作生產預估及農民災害補助等工作的效率及準確度。第六篇論文『機載多譜影像系統偵測作物淹水災害之研究』，由工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室劉治中研究員、廖子毅副研究員和陳大科副研究員聯合發表，係以直昇機機載多光譜影像系統獲取農業災害資訊的測試結果，測試項目包括基本的農作物因水災淹沒受損的光譜反應及機載影像系統的整合運作測試等二大類。第七篇論文『利用光譜遙測技術監測莧菜淹水狀態』，由農委會農業試驗所農藝組楊純明研究員撰稿，由光譜遙測技術的輻射光譜及熱紅外線光譜影像說明對莧菜淹水狀態的監測，同時概述光譜遙測技術的應用範圍及其限制。

第八篇至第十二篇爲氣象災害防護技術，第八篇論文『寄接梨寒霜害防護方法』，由交通部中央氣象局李炳和技士、廖志翔科長和中興大學土壤環境科學系申雍教授協力完成，介紹臺灣地區可能發生寒霜害的氣象環境與地形條件，以及梨園微氣象環境之熱通量傳輸路徑與防護措施分析，續由臺中縣東勢地區三種防護措施爲例，分析其防護效果、設計上的優缺點及改進之道。第九篇論文『澎湖地區無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響』，由農委會高雄區農業改良場澎湖分場韓青梅主任撰文，敘述無葉檉柳防風林下微氣候之變化及其對瓜類作物生產之影響研究成果，建議可供建立農林混植模式之參考。第十篇論文『茶樹旱害與焚風害防護方法』，由農委會茶業改良場臺東分場鄭混元課長提筆，將歷年來茶樹(Camellia sinensis(L.) Kuntze)乾旱與焚風災害田間調查及防護措施試驗做一彙總，具有理論基礎與實務應用價值。第十一篇論文『蓮霧寒害預防之研究』，由農委會高雄區農業改良場果樹研究室賴榮茂助理研究員所寫，綜合兩年期的化學藥品及根部覆蓋處理在降低寒害引起蓮霧落果的試驗結果，期以有助於減低蓮霧寒害損失。第十二篇論文『蓮霧低溫寒害之防護』，由農委會農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所黃基倬助理研究員和王德男研究員提出報告，強調可藉由調整催花時機，配合以適度的修剪，以提高蓮霧樹體及果實對低溫之忍受性，因而避免低溫寒害。

第十三篇論文『颱風後縮短葉菜類蔬菜供應市場時間之品種研究』，由農委會農業試驗所園藝組王三太助理研究員、王毓華助理研究員、林子凱技佐、農興貿易有限公司王振昌先生和農委會種苗繁殖改良場蕭吉雄場長聯合執筆，詳細解說颱風對蔬菜生產及價格的影響，由不同栽培方式及蔬菜品種進行災後復耕的成效與經濟收益。第十四篇論文『土壤水分境況對土壤及水稻生育之影響』，由農委會臺中區農業改良場稻作研究室李健捀助理研究員和中興大學農藝學系陳世雄教授合著，將土壤水分狀態對水稻生產及米質的影響與機制作一完整說明，有助於栽培水稻的水資源管理。第十五篇論文『水稻田水資源及水分利用效率之探討』，由農委會農業試驗所農工組姚銘輝副研究員和漆匡時助理研究員所回顧文章，提出如何有效調控水資源及滿足各項用水需求的主張，並解釋水稻之水分利用效率偏低原因和耐旱品種之可能機制。

林俊義
行政院農業委員會農業試驗所

楊純明
行政院農業委員會農業試驗所農藝組

農業氣象災害調查與防護技術
氣象因子對農林害蟲發生的影響
1-10, 2003

氣象因子對農林害蟲發生的影響

朱耀沂*[1]、鄭清煥[2]
[1]國立台灣大學昆蟲學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植保系
E-mail: chu@ccms.ntu.edu.tw

摘要 ---------- 2

一、前言 ---------- 2

二、氣象因子在沙漠飛蝗的遷移、大發生上扮演的角色 ---------- 3

三、氣象因子經過植物成分及天敵的活動對害蟲發生量的影響 ---------- 4

四、昆蟲對溫度變化之反應 ---------- 6

五、結語 ---------- 8

六、引用文獻 ---------- 8

ABSTRACT ---------- 10

氣象因子對農林害蟲發生的影響

朱耀沂*[1]、鄭清煥[2]
[1]國立台灣大學昆蟲學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植保系
E-mail: chu@ccms.ntu.edu.tw

摘要

由於氣象因子對農林害蟲發生影響所涵蓋的範圍甚廣，本文只就下列三個顯著的例子進行討論。(1)以沙漠飛蝗爲例，介紹大氣候條件對飛蝗大發生及遷移方向及大螳螂產卵場所與降雪量的關係，進一步討論古代記錄、民間口碑在此方面的參考價值。(2)從山毛櫸天社蛾之發生，介紹氣象因子對森林害蟲之發生規律與寄主植物成分變化的關係；並討論斜紋夜盜、舞蛾的捕食性天敵的活動經由氣象因子所致的間接性影響。(3)以人們遺棄物中的溫度變化爲例，說明此等遺棄物如何影響昆蟲棲所的微氣候條件進而影響昆蟲的發育、活動，並從此略提地球溫暖化如何影響昆蟲的分布範圍。

關鍵詞：沙漠飛蝗、山毛櫸天社蛾、大螳螂、蛹寄生菌、誘導性化學反應、斜紋夜盜、小盤蛛、舞蛾、微氣候、七星瓢蟲、條肩花椿象。

一、前言

氣象因子與害蟲發生的關係自古爲眾多農業專家、昆蟲生態學者致力探討的大問題。然有關此問題的首篇綜合性論述可能爲 Uvarov(1931)的「Insects and Climate(昆蟲與氣候)」。書中他引用了 1150 篇的試驗報告討論此間的相關問題。此後的七十餘年間，在許多研究人員的努力下更瞭解許多的事實。尤其近年來全球溫暖化及氣候的變遷，使得此問題成爲熱門研究題材。就台灣最近的研究概況而言；鄭曾於 1998 發表一篇標題附有「氣候變遷」字眼的論述，其內容介紹氣候因子對台灣產害蟲發生上的影響。此後朱及趙(2000)更把重點放在氣候變遷方面的問題及將來的展望上。然氣象因子和昆蟲發生的關係含蓋的範圍太大，爲了避免與上述兩篇報告內容重複，在此特就下列三項目再次論述氣象因子對昆蟲發生的影響。1)以沙漠飛蝗(*Schistocerca gregaria*)爲例談氣象因子對害蟲之長距離遷移與大發生的影響，2)從山毛櫸天社蛾(*Quadricalcarifera punctutella*)的周期性大發生，介紹氣象因子透過寄主植物成分的改變對牠的間接影響。由於多種氣象因子中，溫度對昆蟲的影響尤爲明顯，因此在 3)詳細介紹昆蟲對溫度變化的反應。

二、氣象因子在沙漠飛蝗的遷移、大發生上扮演的角色

於臺灣，飛蝗早已成了許久未見的農業害蟲。據口碑，1865 年左右在蘭陽地區曾遭大群飛蝗的侵襲。此後陸續在 1896、1897、1900、1905、1914、1923、1924 年等，都有遭從菲律賓入侵的飛蝗成災的記錄(中村及朱，1975)。那麼爲何後來沒有飛蝗之成群遷入？而以前來襲的飛蝗也只能維持一、兩年的爲害後即消失無踪？其原因雖仍不詳。據推測在菲律賓北部以禾本科雜草爲主的大草原，經過人爲開墾後使得蝗蟲的發生地消失(Zang and Li, 1999)。再者，於入侵地之台灣島國更缺乏大片草原讓遷入的飛蝗生存，所以使得遷入後的飛蝗族群逐漸變小終致消失。但此現象與氣候因子的關聯較小，在此就暫不談台灣的飛蝗問題。

然反觀世界上的其他地區就不那麼幸運了，在許多地區人們一進入農耕生活時代就已受蝗災之苦。談到飛蝗最早的記錄，常被引用的應是「舊約聖經、出埃及記第十章第十三節至第十五節」的一段；「摩西就向埃及地伸杖，那一晝一夜，耶和華使東風颳在埃及的地上，到了早晨，東風把蝗蟲颳了來。蝗蟲上來落在埃及的四境，甚是厲害，以前從沒有這樣過，以後也必沒有。因爲這蝗蟲遮灑地面，甚至地都黑暗了。又喫地上一切的菜蔬，菜蔬和氷雹所剩樹上的果子。埃及遍地，無論是樹木、田間的菜蔬，連一點色的也沒有留下」。

上述所指的即是分佈在北非、中東、印度西部等地沙漠飛蝗成災情形。此後沙漠飛蝗不但常反覆大發生成災，就在最近的 1988 年 4 月在中非的馬利觀察到的沙漠飛蝗是一群覆蓋 120 公里長、25~30 公里寬，約有 3500 平方公里面積的巨大蝗群。由於每平方公里中就有 4000 萬至 8000 萬隻的飛蝗，形成整個蝗群的飛蝗數達 2000 億隻的天文數字(Wellington et al., 1999)。由於一隻飛蝗一天可取食與牠體重相同量的植物體約 2.3g，於是遭到蝗蟲入侵的地區，每一平方公里一天就消失 80~240 噸的植物，相當於 8 萬個人一天的食物量。幸好此次飛蝗的大發生受到接著而來的嚴重乾旱所影響致使植物枯死而終止。

牠們爲何大發生而形成如此龐大的蝗群?又如聖經所述的一天之內突然出現於埃及?這和氣象因子有密切的關係。就 1988 年度的大發生而言，此前數年的非洲各地遇到相當嚴重的乾旱，到了 1985 年夏天至 1986 年各地才獲得甘霖，引起多年來產在地中未孵化的大量成熟蝗蟲卵同時孵化，在此形成巨大的蝗蟲若蟲(蝻)(Farrow，1990)。接者，已變成成蟲的飛蝗隨著降雨而遷移的習性，並一年中在春、夏、冬季三次產卵，雖然產在乾旱土壤中的卵不易長期存活，然如上述成蟲跟著會帶來降雨的氣流遷移而產卵，而土中的卵受到潮濕土壤的刺激後立刻且同時孵化，然後取食降雨後萌芽的植物而發育。如此長大的蝗蝻有成群爬行移動的習性，至成蟲更有成群飛翔到適合產卵之地的習性。此時飛蝗的乘風而遷移的速度和距離相當可觀。通常一天遷移一百公里，尤其 1988 年大發生時，10 月間部分蝗群從西非跟著時速 60 公里的東風橫越大西洋，出現在離非洲 5000 公里的加勒比海島嶼上。

如此看來，飛蝗的發生與帶雨氣流的動態有密切的關係。由於飛蝗利用帶雨的氣流遷移而尋找食物及適宜繁殖的地方，類似的現象雖於其他昆蟲也可觀察到，但飛蝗的遷移範圍及族群規模特別之大。

在此再回憶上述聖經中之一節；這段話看起來有點荒誕，毫無科學根據，但若把其中的「耶和華」改爲「熱帶收斂帶」，就甚有意義。因爲在赤道非洲地區產生熱帶收斂帶時，東風向此吹進來，收斂帶的空氣隨著吹進來的東風

往上昇，並帶來降雨。沙漠飛蝗也乘此東風從阿拉伯半島入侵埃及。另一方面，降雨也促進當沙漠飛蝗食物的植物發育，出現適合沙漠飛蝗繁殖的場所。

氣候因子對飛蝗活動的影響尚不止如此，已變成蟲具備翅膀的飛蝗，夜間在日夜溫差甚大的沙漠、草原裡，由於體溫的降低被迫休息，但到了早晨隨著太陽升起，體溫逐漸升高而開始起飛，這正是到了早晨東風帶來飛蝗的原因。雖然飛蝗在適宜的氣象條件下，形成如此成千上億隻的族群遷移尋找新天地，但在如此密集的行爲中，萬一發生一些疾病時也容易蔓延致使整個族群中的成員罹病而死。如1986 年，日本九州南方的小離島“馬毛島”，亞州飛蝗(*Locusta migratoria*)大發生，到了次年初夏時，由於一種白殭菌(*Entomophaga grylii)*的蔓延，該飛蝗的大發生遂終止(桐谷及田中，1987)。話回到非洲的砂漠飛蝗，由於在非洲沙漠地區通常是寡雨乾旱，而沙漠飛蝗卵的抗旱性不強，，因此，只有少數的蝗卵孵化，低密度生活的飛蝗—“獨居相飛蝗”—白天多躲在草叢裡，只在夜間或被驚動時飛起來，但飛個十多公尺就會降落。可見獨居相飛蝗的行爲、活動性與成群的“群居相”飛蝗有明顯的差異。如前述，偶而發生的降雨才是引起在土中待雨的蝗卵同時孵化，成爲群居相飛蝗大發生的開始(Farrow, 1990)。

雖然飛蝗在台灣已不常見，然在世界各地仍是偶發性的大害蟲。再者，人類很早就注意到飛蝗的大發生，所以已有許多有關大發生誘發機制的調查、研究，也提供我們在探討氣象或氣候因子與昆蟲發生關係時不少參考資料。另從聖經引用的內容得知；乍看毫無科學性的民間傳述、舊記錄，若是略加改變角度去分析，也可找到一些解決問題的線索。例如，在日本北部下雪量較多的地區，有一種大螳螂(*Tenodera aridifolia*)可預測當年的降雪量的說法，若大螳螂在高處造卵囊而產卵時，即將有豪雪。雖然未知大螳螂以何種機制預測當年的降雪量，但知螳螂的卵囊雖具良好保溫作用，卻缺乏防水效果。因此當融雪而卵囊泡水時，裡面的卵必被淹死，故母螳螂在秋季產卵時必須配合將來的積雪量調整製作卵囊的高度，才能保護後代的生命。經過實際野外調查發現，製造卵囊的高度超過 110cm 時的最大積雪高達 100cm，卵囊高度在 80~110cm 時最大積雪高度爲 60cm，卵囊高度 80~60cm 時的積雪高度爲 30cm，卵囊高度 60~40cm 時的積雪高度20cm，顯見卵囊高度與積雪量間有明顯的相關 (酒井及湯澤，1997)。至於昆蟲產卵處與降雪量的關係，在下一則也有所介紹。無論如何，如前述雖未知大螳螂的預測機制，但由民間口述（碑）、自然觀察的資料，無疑地提供不少探討氣象、氣候因子與昆蟲發生關係上的題材與啓示。

三、氣象因子經過植物成分及天敵的活動對害蟲發生量的影響

此問題要從山毛櫸天社蛾與山毛櫸談起較清楚。山毛櫸天社蛾雖未分布於臺灣，在日本北部的山毛櫸造林地，大致以 8~11 年爲一週期的大發生而成爲山毛櫸的大災害。在大發生時天社蛾的族群密度常達平常的一萬倍以上，且在許多處造林地同時發生。顯示氣象因子極可能與該天社蛾的大發生有密度關連。

由於山毛櫸天社蛾未分布於臺灣，在討論其與氣象因子的關係前，還是簡單的介紹該天社蛾的生活習性。山毛櫸天社蛾成蟲爲翅展開4cm 的中型蛾類，牠灰白色的體色與山毛櫸的樹幹顏色相映呈保護色。雄蛾觸角呈羽毛狀，雌蛾則是單純的絲狀。成蟲羽化期在六至七月，一年只發生一代。羽化後雌蛾將由數十粒

卵組成的卵塊，產在山毛櫸的葉片上。孵化幼蟲群居取食葉片，但到了第三齡期慢慢開始分散，到了七月下旬至八月底，原來黃綠色的身體逐漸帶紅色，此時體長也長至 4cm 左右。老熟幼蟲從樹冠部掉下來，潛入地面的落葉下化蛹，如此越冬至翌年初夏羽化。

雖然山毛櫸天社蛾的生活史如此單純，然爲何發生具週期性且發生量有時達一萬倍之差距？從氣象資料的分析，可發現在引起大發生前數年的 6 至 8 月間，於幼蟲生長期間的降雨量較少，此明顯地對該天社蛾幼蟲的存活有正面效果。因爲多雨對幼蟲的發育、存活有下列三種的負面影響；1)豪雨淹死或沖走葉片上的若齡幼蟲，也影響幼蟲的取食活動使蛹小型化；2)少雨時山毛櫸葉片的含氮量相對地昇高，促進幼蟲的發育，使蛹大型化，羽化後成蟲的體型增大，雌蛾的產卵量隨之增加；3)棲息於土壤中蛹的寄生菌(*Cordyceps militaris*)在少雨季節發育不良，對天社蛾蛹的感染率也低，如此可增加羽化的成蟲數。然與第二項理由配合時更是提高天社蛾族群的總產卵量以致大發生的主因。

山毛櫸天社蛾的天敵有鳥類、寬肩步行蟲(*Calosoma* spp.)等種類不少，但此等廣食性捕食者平常多以其他獵物爲食，到了天社蛾大發生時多數捕食者群起而捕食天社蛾幼蟲，其捕食量到底有限，無法有效地控制天蛾族群的繼續發生。反而前述蛹寄生菌平常對天社蛾蛹的寄生率並不高，然當天社蛾大發生時，它的寄生率急速昇高，常超過 90%，並且在此後的三、四年仍維持 75%以上的寄生率，對天社蛾的發生有較長期控制的效果。從此可知，氣象因子經由蛹寄生菌的發育、活動而影響天社蛾發生量是不可忽略的因素。

另一對山毛櫸天社蛾的發生量有長期抑制效果的是山毛櫸本身的誘導性化學反應。當模擬山毛櫸天社蛾幼蟲的大發生，從一棵山毛櫸摘下大量葉片時，第二年葉片中的含氮量明顯降低，而丹寧的含量相對地提高，而且取食此種葉片的幼蟲不但發育甚差，且只能形成小型蛹，嚴重時甚至出現不少死亡蟲。當連續兩年摘葉時，在第二年的葉片，出現更強烈的成分變化。在野外，因天社蛾的大發生受到嚴重被害的山毛櫸葉片至第三年確分析出大量的丹寧，而造成天社蛾幼蟲發育上的劣化。在此後的數年間，丹寧的含量雖逐漸降低而含氮量開始增加，變成原來適合天社蛾幼蟲發育的葉片。尤其遇到連續數年炎熱且乾燥的夏天時，葉片中含氮量的增加更是明顯。由此可知，山毛櫸受害時所導致植物體內成分的變化，可抑制其後數年天社蛾幼蟲的大發生，顯示控制山毛櫸天社蛾大發生的近因、遠因均和氣象因子有關連。

如上所述乾燥水分缺乏是引起山毛櫸天社蛾大發生之主因。其實似此在乾旱氣候下，由於植物體內氨基酸濃度的昇高，增加或提升害蟲的產卵數及存活率而誘發害蟲大發生的案例並不少。由於陷於水分不足的植物爲了維持植物體內正常的生理狀態，犧牲它原有的抗蟲機制而導致害蟲的大發生。例如，多種小蠹蟲的猖厥發生多在乾旱的氣候或因颱風而導致的吸水功能受損時出現 (鎌田，1996)。

至於因天敵的活動間接地對害蟲發生的影響，由斜紋夜盜(*Spodoptera litura*)與小盤蛛(*Oedothorax* spp.)的關係中可見一般。由於斜紋夜盜爲在台灣多種農作物上極爲常見的害蟲，在此就不再敘述其形態、生活習性等。至於小盤蛛在臺灣已知者共有 3 種，多爲體長 2 mm 左右的小型的蜘蛛，通常活動在草原或草本農作物上。因此，斜紋夜盜的孵化幼蟲易成小盤蛛的良好獵物。惟斜紋夜盜雌蛾通常可產下含有 300~700 粒卵的卵塊，由此可孵化出上百隻的第一齡幼蟲。經由室內試驗結果，可知一隻小盤蛛對斜紋夜盜第一齡幼蟲一天的最

大取食量最多爲 20~30 隻。雖然如此，但在小盤蛛活動的蔬菜田裡，由數百隻而成的斜紋夜盜孵化幼蟲群聚常在一夜間完全消失。這是因爲受到小盤蛛攻擊的幼蟲群聚，雖然眞正被捕食的不到其中之十分之一，而其他未被捕食者在小盤蛛的干擾下紛紛走避。由於斜紋夜盜的孵化幼蟲體小且群聚性強，牠們離開群聚後幾無生機，如此由一隻小盤蛛的騷擾，一天之內即可消滅數百隻的斜紋夜盜幼蟲，而使田裡農作物的受害大爲減少。由於小盤蛛喜歡在潮濕環境下活動，當遇到少雨乾燥的氣候時多遷移到附近的草叢或稻田裡，而使生長乾旱環境的蔬菜變成斜紋夜盜幼蟲順利發育的天堂 (Nakasuji *et al.*, 1973)。

舞蛾 (*Lymantria dispar*) 又名叫吉普賽蛾，雖未分布於台灣，卻是溫帶地區很重要的森林害蟲之一。據東浦(1986)，在日本舞蛾一年只發生一代，雌蛾一生中只產一個約由 500 粒卵而成的卵塊，並以卵期越冬，到了翌年春季孵化的幼蟲開始取食樹葉而爲害。但舞蛾在樹幹上的產卵高度、山雀等鳥類對卵塊的啄食率及當年積雪量間有個值得探討的三角關係。其中卵塊的平均被啄食率爲 39%，最低 4%，最高 71%，積雪量(高度)與被啄食率間有正相關的關係。但在融雪後的被啄食率則顯著降低，其原因並非因卵塊所剩不多，而是鳥類因有其他食物已不願啄食卵塊所致。換句話說，舞蛾之卵塊對鳥類而言，不過是食物缺乏時過渡期的救命性食物，因此在積雪期暴露於積雪上的卵塊多爲鳥類所食，但埋在雪中的卵塊則未受鳥類攻擊而於融雪後順利孵化。由於積雪量每年不同，只憑此點，好似產卵在樹幹愈低處對舞蛾後代的繁衍愈有利。但問題並不麼單純，由於就幼蟲而言，孵化在接近枝條的愈高處只要爬行短距離即得到食物，以後存活的機會較高，因此積雪程度會影響舞蛾在樹幹上的產卵高度。惟就一般趨勢，舞蛾卵於鳥類只不過是過渡時期的替代食物，爲了躲開積雪，在不致引起鳥類食物缺乏的地方，舞蛾大多將卵塊產在近枝條分叉部的較高處，但在降雪量較多的地區，約有 25%的卵塊產在較低的根際部，而其他約四分之三的卵塊就在近枝條分岐部，以分散孵化幼蟲的冒險度。如此，舞蛾的發生量即依當年積雪量、鳥類食物的豐度，以及舞蛾母蛾對產卵場所的選擇性而定。

雖然我們爲了瞭解害蟲大發生的機制，進行以氣象因子爲主的各種原因的分析。然事實上，所利用的分析資料往往只限於大發生前一、兩年的氣象因子，而忽略了經過氣象因子而變動的間接因子的存在。此爲我們所得的結果，理論上雖得某一程度的相關關係，但在實際應用時之準確度仍低，甚或未能產生實用價值。從上述例子，可明白長期的調查資料及多方向的考慮對研究蟲害大發生機制是如何地重要。

四、昆蟲對溫度變化之反應

所謂氣象因子包括溫度、濕度、降雨、降雪、風、氣流等等，其中溫度對變溫動物的昆蟲具有最大的影響力，因此就此問題所得的研究成果比其他氣象因子爲多。對於變溫動物之一的昆蟲，牠最大特徵之一就是體型小，這是我們探討昆蟲對溫度變化的反應是必須考慮的基本觀念。例如，於體溫 40℃而與人相同體積的恆動物，在 30℃的氣溫下，一分鐘內無法降低 1 ℃的體溫。然體重 100 mg 的熊蜂僅在一秒鐘內即可降下 1℃的體溫，其體溫的下降的速度大致爲恆溫動物的約 100 倍。但相反地，當外部溫度高於體溫時昆蟲也急速吸收外部溫度而昇高體溫。如前述的飛蝗之類，當太陽上升後，吸收陽光後在一分鐘內即可昇高 5~6℃的體溫而起飛。但於每種昆蟲都有適合牠活動及發育的體溫範圍，爲了防止體溫超出

此範圍，牠們也有巧妙調節體溫的機制。關於此點已有 Heinrich(1996)之詳細介紹，並多屬於昆蟲生理的領域，在此不做進一步的介紹。雖然昆蟲以各種策略調整自己體溫，其中幾乎所有昆蟲所使用的方法就是自行移動到對自己適合溫度的場所而生活。因此，我們平常所利用的溫度資料——氣溫——不一定代表該種昆蟲棲所的溫度條件，由此可知“微氣候概念”對研究害蟲生理、生態的重要性。

談到昆蟲對溫度條件之反應，生理零點及有效積溫是不能忽略的兩大因子。前者爲昆蟲能夠開始發育的最低溫度。換句話說，低於此溫度，昆蟲即停止發育進入休眠或滯育狀態。雖然依昆蟲種類而有不同的生理零點，且同種昆蟲也依卵、幼蟲、蛹、成蟲等之發育期有不同的生理零點。不但如此，從低緯度至高緯度地區廣泛分布的昆蟲，也按其棲息地的緯度生理零點常有地理上的變異。然而大部分昆蟲的生理零點多在 10~15℃之間。但也有如斑蚊(*Aedes* spp.)、刺蚊(*Culiseta* spp.)等生理零點爲5℃等的例外性超低生理零點。

有效積溫乃一隻昆蟲自卵至成蟲成熟期完成其發育所需的溫度量，並以超出生理零點的氣溫攝氏度數乘以日數表示。因此有效積溫依昆蟲的生物特性，尤其依一年發生代數而有很大的差異。只就鱗翅目野螟科(Pyraustidae)而言， 5 種溫帶分布性的種類調查結果其效積溫爲 617±93 日度，於 10 種熱帶分布性的野螟爲 422±177 日度，八種自溫帶分佈至熱帶的廣泛分布性種類爲 393±177 日度(桐谷，1997)。

綜合以上之說明，可知眞正影響昆蟲發育、發生之溫度條件乃昆蟲棲息場所的微氣候或更詳細地說在微棲所中的溫度條件。據櫻谷(1997)，七星瓢蟲(*Coccinella septempunctata*)爲有名的食蚜性瓢蟲之一，在溫帶地區多以卵期越冬，至翌年春天孵化幼蟲開始捕食多種植物上吸汁的蚜蟲。然據日本大阪郊區冬季的調查，在草地上被遺棄而已生鏽變黑色的空罐裡可發現許多七星瓢蟲的卵塊，雖然此時外面的氣溫只有 14℃，但空罐子裡的溫度卻爲 27~28℃，溫差竟達 20℃以上。此時通常認爲是七星瓢蟲產卵場所的附近雜草葉片上之溫度爲16~17℃，但也比大氣氣溫略高 3~4℃。如此只就氣溫考量時，大阪地區七星瓢蟲卵期之發育甚爲緩慢，幾到翌年早春才能孵化。但該瓢蟲母蟲竟利用如生鏽變成黑褐色易吸收陽光的空罐子產卵，這些瓢蟲的卵不久即可孵化，而孵化幼蟲爬到附近雜草上捕食蚜蟲。

由於蚜蟲與其瓢蟲類天敵的生理零點與有效積溫分別爲 5.8℃與 137 日度，及 11.1℃與 257 日度，兩者之間有相當的差距。因此在早春蚜蟲開始繁殖時，瓢蟲受到低溫的影響未能繁殖。此可能爲溫帶地區，在冬天較爲寒冷的年度，瓢蟲無法抑制蚜蟲的猖厥，但於暖冬時瓢蟲就能夠發揮其控制蚜蟲的功效的原因。但從上述調查結果可知，在人爲造成如空罐子般高溫微棲所存在的環境下，會完全改變過去的一些概念。

曹氏花椿象(*Orius sauteri*)和條肩花椿象(*O. strigicollis*)是最近崛起的大害蟲薊馬、葉蟎類的重要捕食性天敵。據 Ohta(2001)，兩種皆分佈於日本中部以南的地區，分佈範圍包括台灣。兩種花椿象的生理零點大致在 12.5℃，在東京附近一年發生三代，於冬季以成蟲進入休眠越冬，但在沖繩，條肩花椿象冬天並不休眠。進一步調查發現，僅是東京附近，就有條肩花椿象的棲息及未棲息的地點，而兩種地點與緯度、海拔無關，卻與一月份最低氣溫、日最低溫到攝氏零度以下的冬天日數及年最低氣溫有顯著的相關。更具體的說，條肩花椿象能夠棲息的地方雖爲同一緯度，冬天日數少於 50 天，一月的日最低氣溫在-1℃以上的沿海部與都市區爲主，而且條肩花椿象的分布北限

已達東北方 300~400 公里處。但從以上氣象資料回溯，在五十年前東京附近冬天日數不到 50 天的只限於東京南方的三浦半島與房總半島南端。但其後因地球氣候的變遷，都市的溫暖化，加上各種人造遺棄物造成的高溫微棲所的出現，使肩條花椿象急速向北方擴大分布範圍(Shimizu & Kawasaki， 2001)。因此昆蟲與氣象因子的關係中往往還考慮人爲因子所造成的溫度變化。

五、結語

氣象因子與害蟲發生的關係是包羅各種局面的龐大題目。關於此問題已有如 Cammell and Knight (1992)、Harington and Stork (1995)、Kareiva *et al.*(1993)、Uvarove(1931)及 Wellington (1999)等的詳細介紹。本文若就此現象全貌性的重新介紹，於時間及個人能力而言幾是不可能的事。又倘若爲篇幅所限只對全局做走馬看花式的簡介，亦不甚妥當，反使討論重點更加模糊。有鑑於此，筆者於是將本文重點縮小於臺灣過去鮮少爲人所注意的三點完成此篇論述。

在一些較舊的資料中，如高野、柳原(1939)關於甘蔗害蟲與氣象因子的關係有如下的記述；在平均氣溫 20~23℃的臺南以北地區，甘蔗櫛角叩頭蟲(*Melanotus tumsuyensis*)成蟲至 3 月後才能羽化，在臺南以南平均氣溫更高的地區，自 10~11 月左右至翌年 2~3 月皆有該蟲的羽化。又於冬季多雨的東部及北部未見蔗龜、犀角金龜等之發生，然在冬季少雨的中南部蔗龜的發生卻極爲嚴重。又在台灣南部自 4~5 月間開始降雨後，明顯降低綿蚜、黃螟、蔗龜等的發生。雖然現在甘蔗的經濟價值大不如前，但上述資料本身對於探討氣象因子與害蟲發生關係時仍不失其參考價值。然要提高此等資料的參考價値及在害蟲發生預測上的準確度，仍須進一步探討其所以然，並要同時考慮其他氣象因子的影響度，如此把它連貫後在農業氣象學及害蟲防治學上才有眞正的進步。

目前我們已從第一線退居第二線了，亦即身處旁觀看戲的位置。但回憶起當初仍在第一線打拼時，臺灣農業正處「以農業養工業」的口號下，此時也正是台灣農業的黃金時代。此時期對於從事植物保護工作的我們來說，可能是一生中最幸運的事。反觀現在，農業持續的走下坡、邊緣化，甚至無人可臆測農業將走向何處。然如何阻止農業繼續往下走，撥亂反正之路就完全靠各位後生的努力了。

爲達成此項任務最重要的課題乃是致力於農業研究上，使農業的研究上產生更大的實用價值。因此，要避免爲了研究而做研究，而應想辦法把基礎研究結果利用在實際或田間的應用上。另一方面，爲了印證田間所得資料的準確性，如何利用基礎研究的成果才是重要。在台灣已完成不少害蟲的生理零點、有效積溫的研究，但卻少見這些資料利用於害蟲之發生預測、分布範圍的檢討上。如此基礎研究與應用研究的脫節，是目前研究工作上的一項缺失。著者有感於此種缺失，特撰文探討。

六、引用文獻

中村愼吾、朱耀沂。1975。臺灣昆蟲學史話(九)。昆蟲。自然 10(3):23-27。

朱耀沂、趙榮台。2000。全球變遷對昆蟲之影響。p.341-366。應用昆蟲學。王清澄、吳文哲編。

東浦安友。1989。マイマイガの產卵場所えらび・インセクタリウム 26:204-211。

桐谷圭治。1997。日本產昆蟲、ダニ、線虫の發育零臭と有效積算溫度·農業環境技術研究所資料 21 號，72pp.

桐谷圭治、田中章。1987。馬毛島で大發生し

たトノサマバッタ。Insectarium 24:44-54.
酒井與喜夫、湯澤 昭。1997。「カマキリが高い所に產卵すると大雪」は本当か。 日經サイエンス 1997 年 5 月號:44-53.
高野秀三、柳原政之。1939。臺灣甘蔗害益蟲篇。臺灣蔗作研究會。311pp.
鄭清煥。1998。全球氣候變遷對臺灣地區蟲害發生影響及因應對策。p.74-85。氣候變遷對農作物生產之影響。林俊義、楊純明，主編。臺灣省農業試驗所特刊 71 號，臺中縣。
鎌田直人。1996。ブナアオシヤチホコの大發生と個體群動態(I)、(II) インセクタリウム, 33:32-37, 33:80-86.
櫻谷保之。1997。冬に產卵するナナホシテントウとその產卵战略。インセクタリウム, 34:308-313.
Cammell, M.E. and J.D. Knight. 1992. Effect of climatic change on the population dynamics of crop pests. Advances in Ecological Research 22:117-162.
Farrow, R. A. 1990. Flight and migration in aridoids. p.227~314. *In:* Biology of grasshoppers. F. Chapman and A. Joern, eds. John Wiley & Sons, New York.
Harrington, R. and N.E. Stork. 1995. Insects in a Changing Environment. Academic press Ltd., New York. 535pp.
Heinrich, B. 1996. The Thermal Warriors: Strategies of Insect survival. Harvard Univ. Press, Boston. 250pp.
Kareiva, P. M. *et al.* 1993. Biotic Interactions and Global Changes. Sinauer Associates Inc. Publishers. 559pp.
Nakasuji, F. *et al.* 1973. The disturbing effect of microphantid spiders on the larval aggregation of the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Kontyu 41(2):220-227.
Ohta, I. 2001. Effect of temperature on development of *Orius strigicollis* (Heteroptera: Anthocoridae) fed on *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Appl. Entomol. Zool. 36(4):483-488.
Shimizu, T and K. Kawasaki. 2001. Geographic variability in diapause response of Japanese Orius species. Entomol. Exp. Appl. 98:303-316.
Uvarov, B. P. 1931. Insects and climate. Trans. Entomol. Soc. Lond. 79:1-274.
Wellington, W. G. *et al.* 1999. Weather and Insects. p.313-353. *In:* Ecological Entomology. C.B. Huffaker and A. P. Gutierrez, eds. John Wiley & Sons. Inc., New York.
Zhang, Z. and D. Li. 1999. A possible relationship between outbreak of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria* manilensis Meyen) in China and the El Nino episodes. Ecol. Res. 14:267-270.

The Influence of Meteorological Factors on the Abundance of Agro-Forest Insect

Chu, Yau-I*[1] and Ching-Huan Cheng[2]
[1] Department of Entomology, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC
[2] Chiayi Agricultural Experiment Station, Agricultural Research Institute, COA, Chiayi, Taiwan, ROC
E-mail: chu@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

The present paper composed of the following 3 topics. (1) The role of meteorological factors on the long distance migration and the formation of phase gregaria of the desert migratory locust (Schistocerca gregaria) are discussed by the outbreak of the locust which observed during 1988 to 1989. The relation between the ovipositing position by the preying mantis (Tenodera acridifolia) and the snowfall is also introduced. Through those phenomena, the applicability of ancient or traditional record on the forecasting of insect abundance is discussed. (2) The meteorological factors which through the influence of biological characters of host plant and activity of the natural enemies to affect the outbreak or population change of the beech saturniid caterpillar (Quadricalcarifera punctella), tobacco cutworm (Spodoptera litura) and gypsy moth (Lymantria dispar) are described. (3) Among several meteorological factors, the temperature is recognized as the most influential one especially to the poikilo thermal animals such as insect. The effects of temperature condition at the microhabitat of the insect are discussed on the over-wintering lady beetle (Coccinella septempunctata). Besides, the influence of global change which induce the expansion of the distribution to the northern-ward of anthocorid bug (Orius strigicollis) is also described.

Key word: Desert migratory locust (*Schistocerca gregaria*), Preying mantis (*Tenodera acridifolia*), Beech saturniid caterpillar (*Quadricalcarifera punctella*), Caterpillar vegetable worm (*Cordyceps militaris*), Tobacco cutworm(*Spodoptera litura*), Microphantid spider(*Oedothorax* spp.), Gypsy moth (*Lymantria dispar*), Lady beetle (*Coccinella septempunctata*), Anthocorid bug (*Orius strigicollis*), Micro-climate, Induced chemical reaction.

農業氣象災害調查與防護技術
氣象因素與植物病害流行關係之監測與分析
11-34, 2003

氣象因素與植物病害流行關係之監測與分析

黃益田
行政院農委會桃園區農業改良場
E-mail: ythuang@mail.coa.gov.tw

摘要 ---------- 12
一、前言 ---------- 12
二、植物病害之監測 ---------- 13
三、氣象因素之監測 ---------- 19
四、監測資料之分析及應用 ---------- 24
五、結語 ---------- 26
六、引用文獻 ---------- 27
ABSTRACT ---------- 33

氣象因素與植物病害流行關係之監測與分析

黃益田
行政院農委會桃園區農業改良場
E-mail: ythuang@mail.coa.gov.tw

摘要

本文主要探討有關氣象因素與植物病害流行之監測技術與其資料之分析。植物病害之監測方面，闡述病害定量與定性之屬性、評估之適期與頻率、病害評估之步驟、病害圖解與尺度、及遙感探測等問題。氣象因素之監測方面，綜述氣象變數之觀測，包括溫度、水分(相對濕度、葉面濕潤、雨、土壤水分)、風及輻射等。資料分析方面，介紹病勢進展曲線要素、始發病量(Yo)、傳染速率(r)、發病曲線下面積(AUDPC)及最高發病率(Ymax)之分析，以及經驗與迴歸模式之建構。

關鍵詞： 氣象因素、植物病害流行、病害監測與分析。

一、前言

氣象常爲植物病害之誘因。植物病害潛伏之長短、發生之遲速及蔓延之廣狹，直接或間接地受自然氣象諸如風、雨、光、溫的影響。病原體之繁殖及侵入有其最適宜之溫度及濕度等氣象條件，所以根據發病前期的氣象狀況，可以預測病害之發生情況。而，生產者可據以進行適期防治，減少農藥成本之支出，提升農藥使用之安全性。因此，作物病害氣象預報，自然成爲病害體系不可或缺的組成部分(黃，1997)。植物病害流行學的目的首先就是預測，有了準確而全面的預測才能進行合理的病害綜合治理(曾及楊，1984)。

影響病害發生及流行之氣象因素，包括風速、溫度、濕度、降水量、結露及日照時間等。有許多病害之發生預測，係應用這些因素與病害之關係來發展預測模式。例如，水稻葉稻熱病發生類別(黃，1983)、初發期(Huang，1988)、感染日(橋本，1978)、感染好適葉面濕潤時間(越水，1982)預測等；胡蘿蔔葉斑病感染預測(Gillespie and Sutton, 1979)，馬鈴薯晚疫病感染預測(Krause *et al.*, 1975)等，乃屬於經驗法則之應用；葉稻熱病病斑數(蔡，1984)、病葉率、病莖率、發生面積(後滕，1962)、盛行率(黃，1983)；白葉枯病盛行率(黃，1994)等預測，則屬於統計模式預測；另有葉稻熱病BLAST(橋本，1978)、蘋果黑星病 EPIVEM，屬於系統分析(模擬)模式之預測。無論發展上述任何一種預測模式，均須先行調查蒐集農業氣象因素及植物病害病勢進展之資料，纔能建立預測法則、統計模式或系統分析模式。

臺灣自 1966 年以來，即有研究團隊從事氣象因素及水稻病害病勢進展之監測，並發展出許多預測模式，以氣象變數去預測病害之發生及進展，提供預報服務。然而，近二十年來，由於農業環境變遷急劇，此類研究日漸式微，

不僅無法再次提升預報服務之功能，更無以擴及他種作物，如蔬菜、果樹病害之預報服務。而，消費者對農藥安全使用之要求，卻日益增高。況且，一般防治多採用防治曆的作法，按照防治曆施藥，難免有時浪費，有時不夠及時。如果能進行病害發生或感染預測，就易做到及時、經濟而有效的防治，且減少環境污染。從整體植物健康管理系統著眼，預報服務爲值得操控的部分系統，因此，本文特援引有關農業氣象因素及植物病害監測及預測有關之文獻，撮要綜介於次，以供識者之參考。

二、植物病害之監測

植物病害評估(disease assessment)在植物流行病學中是最重要而最艱難的工作。在一定時期內評估發病量(amount of disease)之資料，爲統計分析、模式建構及病理系統詮釋之基石。在病害評估時所引進的誤差，有時可能無法察知，然而，在其後之流行病學分析，則有可能被放大的風險。此外，結論之確定程度(degree of certainty)及眞實效應(true effects)區別之能力，可能不會比放在病害評估值(disease assessment values)之可信水準(level of confidence)來得更佳或更可靠。

病害評估，通常非常耗時；因此相當昂貴。審愼規劃「如何」、「何時」、「何處」、「由誰」評估非常重要。規劃特殊的調查，需要明晰的概念及對病害系統(pathosystem)詳盡的知識。成功的評估方法，提供準確、精密、可重複的結果。其方法可以記述，以供後來之調查者能夠評估資料之蒐集及重複其有用之方法。評估體制(assessment scheme)必須適合工作需要並且效率高，及滿足研究及評鑑(evaluation)所列舉之目的(Campbell *et al.*, 1990)。

(一)被評估之病害屬性(Attributes)

病害評估，分爲定量的(quantitative)、定性的(qualitative)或兩者兼具。病害數量(quantity)歸納爲病害強度(disease intensity)(Seem,1984; Moore, 1943; Kranz, 1988)，而，病害強度可區分爲病害發生率(disease incidence, DI)及病害面積率(Disease severity, DS)兩種評估方法。此外，可反應病害強度者，例如組織內孢子發芽之病斑數、繁殖體或菌落形成單位之濃度(concentration)或測定量(titer)等特性狀。定性(gualitative)測定法，包括如市場品級(market grade)：寄主或寄主產品之蛋白質、油、或營養成分；其他消化率(digestibility)，風味(taste)及氣味(smell)等因素。

病害發生率，稱發生率或發病株率，係指發病明顯的植物體單位數(plant units)(James, 1974)，一般以其與評估單位數總計的比例來表示；或稱爲罹病株率(percentage of infected plants)。發生率可採用植物之枝、葉或根爲植體單位。

病害面積率，稱發病率、罹病度或嚴重度，係指植體發病面積(area)或容積(volume)與調查總面積或容積之比例來表示(Kranz, 1988)。

病害盛行率(disease prevalence)，係指發病田之面積與調查總面積之比例。例如某鄉鎭水稻稻熱病發病面積爲 20,000 公頃，栽培面積爲 100,000 公頃，其盛行率即爲 20%(黃，1983)。

發生率(DI)與發病率(DS)都非常有用，對個別病害系統(specific pathosystem)都要建立適當的測量方法。發生率(DI)之測量，爲最簡便的病害評估方法。例如番茄萎凋株數，小麥黑穗病穗數，長瘤根數，或病斑葉數，或呈嵌紋病葉數等都可以精確地計數。發生率對許多一個病斑／植物單位即可致命，或萎凋性及系

統性病毒病害不失爲適當的病害測量法。對果樹、綠蔭及林木類而言，呈現病徵的葉及針葉的發生率測量相當適合。發病率(DS)之估計或觀測，則更困難費時。而且，準確性、精密性及可重複性(reproducibility)比發生率低。然而，就各種病害系統而言，關於病害管理、族群動態及作物損失估計而言，發病率(DS)之測量更爲重要而有用。

在許多病例中，發病率爲評估植株單位之分數量來表示。許多植物生理及作物損失估計證據顯示，收量可由發病總面積決定。然而，以不發病(disease free area)總面積爲作物收量之決定因素更爲精確(Waggoner and Berger, 1987)。

(二)評估之適期及頻率

病害評估之適期(timing)及頻率(frequency)，由病害系統及評估目標而定。評估時間，可能受整體流行病或特殊重要階段，或執行評估的方便性所影響。

病害評估，基於曆法尺度(calendar scale)，或生理—環境尺度(physiological-environmental scale)。在流行病評估研究上，最常用的曆法尺度以爲 5-、7-、10-、或 30-日間隔爲時程。曆法評估(calendar assessment)非常方便，易於按預定日期計畫；可提供規則性的空間資料，以時間爲獨立變數，指出病勢進展(disease progress)之分析方向。

生理—環境時間尺度法，採用一種環境數量(environment quantity)或對寄主及病原體(pathogen)生理狀態特別重要之組合。此類尺度基於環境單位(environmental units)必須按順序累計到一個生理程序(physiological process)發生的一種理念。超過某一特定基礎溫度(basic temperature)之日度(degree-days)數，即爲顯著之例。此一尺度須持續監測環境變數。安排定期評估這類變數較曆法評估更困難。

生理—環境尺度之推廣，基於寄主植物生育期之應用，以寄主作爲基礎尺度，植株本身即爲環境效應之統合物(integrator)。假設生育期是基於在寄主生活史裡一連串關鍵事件(key events)，則在關鍵期之病害評估，有助於提供作物損失估計，抗病育種材料之評估資訊，以助分析及構築模式之目的。

病害評估之頻率，可能由發生事件、病害流行各時點之資訊需求，或經濟上的考慮所左右。以生理—環境或生育期尺度而言，特定事件的發生，換言之，X 日度(degree-days)或過度(transition)至下個生育期之情況，亦影響病害之評估頻率。如果須要詳盡的統計或數學分析，評估次數之多寡，可能視實際需要特定之觀察次數或病害流行期間之臨界時段(critical portions)觀察之需而定。在病害流行 90 天，每週評估一次，則有 12-13 個均勻的觀察空間(圖 1A)，此評估次數已足以滿足大部分的目的；然而，如果經濟上的考慮指定少於 12 次觀察，則不規則間隔(interval)之評估，可能更爲有利。採用不規則間隔評估(圖 1B)，在流行病變換期(transition stage)可作較多次的觀察，使病勢進展曲線重要部分獲得改善。

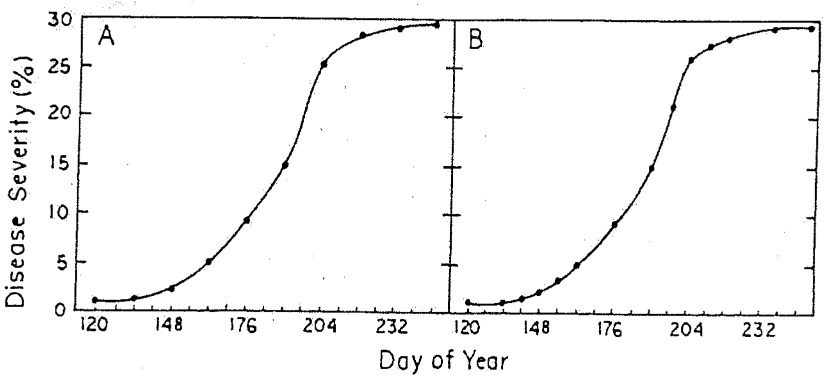


圖 1. A.每週定期抽樣 10 次罹病度觀察；B.不定期抽樣流行病過度期集中評估 14 次。
Fig. 1. A, Regular weekly sample interval with 10 observations of disease severity; B, irregulars sample intervals and concentration of 14 assessments at "transition" phases of the epidemic. (Campbell *et al.*, 1990)

病害評估時，經濟之考量與特定資訊之獲取，必須取得平衡，如果時間為其限制因素時，必須明確訂定最低評估次數。評估目的及試驗單位內部之不同見解，可以辨別一個地點(site)或試區，較多觀察次數，是否優於許多地點較少之觀察次數。在決定評估適期及次數前，對滿足實際目的所需之定量與定性資料之蒐集，更應有週詳的考慮(Campbell *et al.*, 1990)。

(三)病害評估步驟

1.優良評估體制之屬性

優良的病害評估系統，具有準確性，精密性及可重複性(reproducibility)等屬性。最佳的評估系統，以圖解(diagrams)及評估檢索表(assessment keys)為基礎，可使評估者看清連續病害尺度(continuous disease scale)。

2.資訊之紀錄

紀錄資料，包括生育期、日期、或生理－環境時間及評估之器官(organ)等。記錄抽樣方法，可隨意的(arbitrarily)、隨機的(randomly)或系統的(systematically)。

病害評估者(disease evaluator)之功能，也不能忽視，評估者須事先練習評估方法以保證評估的整齊度(uniformity)及評估者間之可靠度(inter-rater reliability)。每一單元的評估者，必須作記錄，以便與其他評估者作誤差之比較。

(四)病害圖解及尺度

病害評估，首先必須對病徵性狀透徹的瞭解。病害分級尺度(Disease rating scales)及標準圖解(Standard diagrams)可能改進評估之效率、可重複性及精密性。分級可以增進不同評估者，評估前後之一貫性(consistency)。

最早之病害評估分級尺度，在 1892 年，由澳洲 Cobb 氏所提出，其穀類葉銹病評估尺度，分為 5 級，分別為 1，5，10，25 及 50%。其後，Cobb 尺度之概念推廣應用於許多植物病害。1971 年 Dixon、Dodeon 及 James 都發表過測量許多作物病害之圖解及檢索表(keys)。表 1 為部分植物病害評估之標準圖解一覽表。圖 2 為葉稻熱病罹病程度調查基準圖，可作為評估檢索。

表 1. 應用於植物病害評估之標準圖解(插圖畫檢索表)精選(Campbell *et al*., 1990)
Table 1. Selected standard diagrams (pictorial keys) for use in assessment of plant disease. (Campbell *et al*., 1990).

Host	Disease	Pathogen	Reference
Apple	Blotch	*Phyllosticta solataria*	Tehon and Stout (1930)
	Frogeye leaf spot (black rot)	*Botryosphaeria obtusa*	Tehon and Stout (1930), Chester. (1950)
	Scab	*Venturia inaequalis*	Tehon and Stout (1930), Croxall *et al.* (1952), Kranz (1970)
Bean	Blight	*Xanthomonas phaseoli*	James (1971)
Carrot	Leaf blight	*Alternaria dauci*	Strandberg (1988)
Cherry	Leaf spot	*Coccomyces hiemalis*	Tehon and Stout (1930)
Corn (maize)	Southern corn leaf blight	*Bipolaris maydis*	Fry et al. (1984)
	Northern corn leaf blight	*Helminthosporium turcicum*	Chester (1950), Ullstrup *et al.* (1945), Fullerton (1982)
Cucumber	Anthracnose	*Colletotrichum lagenarium*	Thompson and Jenkins (1985)
Peanut	Leaf spots	*Cercospora, Cercosporidium*	Shokes *et al.* (1987)
Pear	Fire blight	*Erwinia amylovora*	Tehon and Stout (1930)
Pineapple	Interfruitlet corking, leathery pocket, fruitlet core rot	*Penicillium funnicosum and Fusarium moniliforme*	Rohrbach and Taniguchi (1984)
Potato	Late blight	*Phytophthora infestans*	James (1971)
	Scab	*Streptomyces scabies*	James (1971)
Sunflower	Leaf spot	*Alternaria helianthi*	Allen *et al.* (1983)
Sweet potato	Streptomyces rot	*Streptomyces ipomoea*	Moyer *et al.* (1984)
Wheat	Powdery mildew	*Erysiphe graminis*	James (1971)
	Leaf spot	*Helminthosporium* spp.	James (1971)
	Glume blotch	*Septoria nodorum*	James (1971)
	Speckled leaf blotch	*Septoria tritici*	Eyal and Brown (1976), Jones and Cooke (1969)
	Rust	*Puccinia graminis*	James (1971) Peterson *et al.* (1948), Zadoks and Schein (1979)
	Black chaff	*Xanthomonas translucens*	James (1971)

晚近，利用視像影像技術(video image technology)開發出定格的病害評估圖解，以測量寄主生長(Lindow and Webb, 1983)。發生病斑之葉及根可以藉助數位相機觀察及微電腦之數位化功能展示及詮釋發病及健康部分。利用不同病害強度之葉片及根，可以發展出標準面積圖解。同理，也可製作出葉片面積圖解，作爲病害評估的輔助工具。如果有足夠時間採破壞性抽樣(destructive sampling)，眞正的罹病度(actual disease severity)可以用影像分析來測量。

雖然，在許多情況下，可方便使用圖解，但研製這種圖解非常費時；如果以調查整個小區植株替代個別葉片及植株效果有限。因此，就非常需要病害尺度(disease scale)。病害尺度，係將可能的發病率全距，分爲若干級別(class)，包括數個類別(categories)及摹狀詞(descriptions)，但無圖解。圖解及分級檢索爲

發病率水準之例證，反應病害尺度間隔或級別。1945 年，Horsfall and Barratt 引用 Web-Fechner 定律作爲病害評估之基礎。

Weber-Fechner 定律敘述視覺敏銳(visual acuity)與刺激之對數(logarithm)成正比，刺激增加識別力降低。1945 年 Horsfall and Barratt 氏提出非直線的，幾乎是對數的病害級別尺度。假設，對病害正確目視範圍低於 50%的部分，而對健康組織之正確目視範圍，則超過 50%部分(Horsfall and Cowling, 1978)。因此，病害級別(disease class)在 50%爲對稱的(表 2)。當級值(class values)記錄，用來評估變數之發病率及病害百分率時，級值之平均值則不適用，易產生偏差的結果，使病害評估尺度失效。在分析之前，必須轉換(convert)級值爲百分率。在轉換時，可採取間隔之中點(midpoint)，在 Elanco 表之數值則稍有差異。例如三個植株評估爲 1，4，及 7，則可以採用 1，5，18.5，81.5 之平均發病率。雖然，後來有學者刻意安排將中間尺度內距範圍縮小之研究，但證明如此安排並無法清楚區別。一般認爲 Horsfall-Barratt 尺度極具價值。

圖 2. 水稻葉稻熱病罹病程度調查基準。

Fig. 2. Disease diagrams for assessment of severity of rice leaf blast.

表 2. 供罹病等級、罹病度互換及資料分析用之 Horsfall-Barratt 評估尺度。

Table 2. The Horsfall-Barratt Scale for assessing disease and Formula Percent Values for Converting Class Values to Percentage Values for Averaging and Data Analysis.

Class	Disease (% Severity or incidence)	Value to use to convert back to percentage: Midpoint	Elanco formula [a] (%)
0	0	0	0
1	0-3	1.5	2.34
2	3-6	4.5	4.68
3	6-12	9.0	9.37
4	12-25	18.5	18.75
5	25-50	37.5	37.50
6	50-75	62.5	62.50
7	75-88	81.5	81.25
8	88-94	91.0	90.63
9	94-97	96.5	95.31
10	97-100	98.5	97.66
11	100	100	100

[a] See Redman *et al.* (1969).

(五)遙感探測

遙感探測在植物病害評估之應用，基於作物冠層可吸收及反射偶然輻射(reflect incident radiation)之原理，而健康或非逆境植物(nonstressed plants)與發病植物或逆境植物比較，有不同的吸光率(absorbance)及反射特性(reflectance characteristics)，而這種差異可以定量觀測(Jackson, 1986)。典型的綠葉可視及紅外線電磁光譜(infrared electromagnetic spectrum)如圖 3。

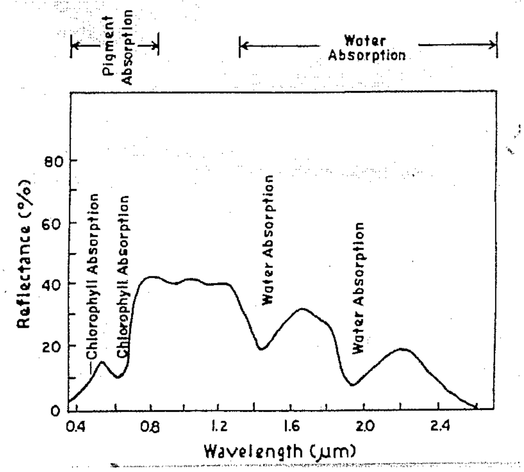


圖 3. 一片綠葉之反射光譜。
Fig. 3. Generalized spectral reflectance of a green leaf. (Campbell *et al.*, 1990)

遙感探測係從三種高度探測或估計植物病害。地面遙感探測，係最低高度在離開作物 1.5–2.0 公尺，採用多光譜輻射計(multispectral radiometers)來記錄目標區作物之多光譜信號(multispectral signatures)。其次，低空遙感探測，係在 75–1,500 公尺高度，以飛機或直昇機進行空中攝影。高空遙感探測，係從 650–850 公里高度之衛星規道(satellite orbiting)進行主題地圖繪製(thematic mapping)或圖像(imagery)。

遙感探測在植物病害強度評估上，是一種極爲有用的技術。然而，其適用性也受其特性所制約。其反射資料(reflectance data)或光譜信號(spectral signature)，不一定保證是由某一種特定病害所引起。在評估農業或森林生態系整體健康(overall health)時，有相當的優勢，例如作爲生產潛力(yield potential)之指標，比任何一個單獨生物學或環境變數更佳。多光譜放射計(multispectral radiometers)最適宜於田區間或小試區間的觀測，而空中紅外線攝影(aerial infrared photography)，則適用於大田區之觀測，而衛星空照(satellite imagery)，則適於大範圍地區(regions)的監測。

(六)抽樣技術

抽樣技術在植物病害流行之研究上，極爲重要。在計數病害屬性之數量時，欲遍及全田，每爲時間與人力所不許，故須應用抽樣方法，由全體抽出一部分，以作估計之用，其目的爲由樣本估得之準確、精密的估計值，在試驗機誤範圍內，可以代表全體。欲達到此目的，則須決定(1)全體應取若干樣本；(2)樣本應如何取得；(3)用何種抽樣方法，方可估得抽樣機誤，以定其代表程度。欲解決此等問題，則不得不研討抽樣之技術。

1.抽樣單位(Sampling unit)

抽樣單位之選擇，對抽樣計畫有決定性之作用，例如小麥銹病之於產量損失與劍葉之病害面積率相關，則劍葉可選爲抽樣單位。同理，如果欲估計微菌核形成菌(microsclerotia-forming fungus)之繁殖體(propagules)，在土壤中之族群，採用 2.5-cm 直徑採土器(soil probe)，從 64 個 4 × 4 m 方塊取樣，每一個樣本條即爲樣本單位(Seem, 1988)。

2.抽樣頻率(Sampling frequency)

抽樣頻率及一定期間內抽樣的數目，由研究目的及可利用資源之多少而定。例如研究病

勢進展時，病害強度樣本之抽樣越多就比抽樣少者更能解答進展型態。抽越多樣本，病勢進展速率之估計，則越可靠。

3.樣本設計(Sample design)

一般而言，樣本有三個基本型：簡單的逢機樣本(Single random samples)，系統樣本(Systematic samples)及分層樣本(Stratified samples)。病害空間分佈模型(Spatial pattern)分爲隨機(random)或聚集(aggregated)模型(pattern)。病害分佈爲隨機模型的，可採用隨機抽樣，或模型抽樣(pattern sampling)，增加樣本(n)數比增加抽樣臂(sampling arms)更爲有效。所謂抽樣臂，指系統模型樣本之一個段(segment)，例如 W 型，X 型或鑽石型之一段(圖 4)。反之，如病害分佈爲聚集或群聚(clustered)型，則增加抽樣臂爲佳，換言之，W 型系統抽樣或對角線抽樣比隨機樣本爲佳。

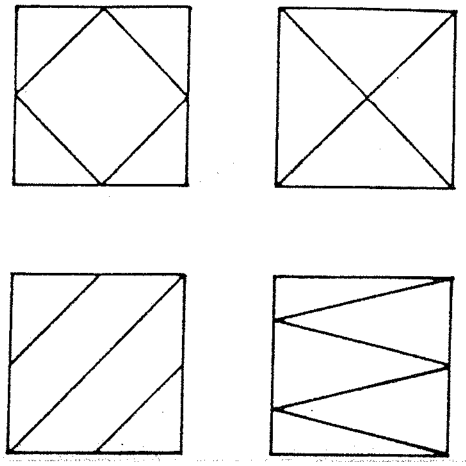


圖 4. 四種抽樣模型，樣本以 X、W、鑽石、或三對角線路徑區分抽樣。

Fig. 4. Four sampling patterns. Samples would be selected at preset, regular intervals along the path demarcated for the X, W, diamond, or triple diagonal pattern (Campbell *et al.*, 1990).

三、氣象因素之監測

自然環境對病害之流行趨勢的影響，係通過與寄主植物各特定發育階段之互動，而導致對病原體生活史之階段產生效用。其間，氣候(climate)與天氣(weather)對流行病發生極具關鍵之影響。因此，氣候與天氣之監測，就病害預測及防治而言，非常重要。氣候，乃各地或全球氣象現象，在長期間內演變之平均狀況(胡，1966)。1980 年 Mitchell 報告指出，氣候定義爲產生天氣之動態物理系統。氣候分大氣候(macroclimate)、中氣候(mesoclimate)及微氣候(microclimate)，大氣候指發生於 50–1,000 km 高度範圍內之氣候現象或指全球各地之特徵；中氣候指發生於 100 m–100 km 高度範圍內之氣候現象，係一特殊地理景觀或山岳模型(orographical pattern)之特徵；微氣候指 1 mm–300 m 高度範圍之氣候現象，通常指接近植株冠層的氣候現象(Friesland and Schröter, 1987)。大氣候不僅决定作物之地理分佈，而且影響特定植物在某些地理區之發生。例如香蕉生長於中南美而不長於北美；*Sclerotium rolfsii* 引起南方菌核病，嚴重危害美國南方各州之蔬菜及雜糧作物，却不發生於北美各州。在德國，Weltzin 氏曾報告氣候在病害分佈之重要性(Weltzien, 1978, 1988)。在美國，Coakley 氏等報告氣候變化與冬小麥條銹病(Stripe rust)顯著高相關性(Coakley, 1985)。

一般氣象因素與流行病之關係研究，大都把焦點集中在微氣候或近地層氣候上。植物流行病學家對微氣候資訊之蒐集，主要在天氣變數(weather variables)，如溫度(temperature)、濕度(humidity)及風(wind)。用於監測之微氣候及天氣變數之儀器，包括電子(electronic)及非電子(non-electronic)儀器。而電子微處理機資料收集系統，在植物病害流行學研究上，也已廣泛地被採用。

(一)一般考慮及注意事項

在植物族群之環境中，無論是葉圈(phyllosphere)或根圈(Rhizosphere)，其變異(variation)爲三維空間。田間之變異大於溫室或人工氣候室(phytotron)。然而，在精密人爲環控之生長箱內，也呈現某一程度的變異。(Lee and Rowlings, 1982)觀測作物環境之困難度，因作物之冠層及根圈之影響而加深。此外，植物環境變化受到每一季或生長季節間植物本身生長所制約。而曆日與季節變換，同具影響力。Coakley(1985)認爲天氣變數之監測，須優先考慮其需要與否。環境監測之重點，可能爲個別葉、根部或植株，以至植物族群，或在一個葉圈或根圈觀測。不同目的之觀測，其測量設計(measuring devices)或感應器不同。最後資訊之用途可歸納爲四種：(1)決定特定環境量與病原體－病害屬性之關係，例如露水週期(dew period)與胞子形成(sporulation)之關係；(2)比較不同地區與季節之病害流行之環境條件；(3)評估管理技巧；(4)發展植物病害預測系統及模擬模式。

(二)氣象因素及其觀測

植物流行病學研究最常觀測之氣象因素包括溫度、水分、輻射及風。每一種因素不僅個別地、深層的影響，並且交互影響初發及病害的進展。因爲病害系統是混合生物－環境交感的結果，在反應某些環境因素之效應時，在生物成分上，會發生某種程度的補償作用(Rotem, 1978)。爲了簡化及單純化，一般都將氣象因素分開單獨討論，然而實際上，在對流行病之作用上，很少有單獨的作用發生。

1.溫度觀測

用於流行病學研究之溫度計，可分爲三類：(1)玻管液體溫度計(liquid-in-glass)；(2)變形溫度計(deformation)；(3)電測溫度計(electrical)。

玻管液體溫度計，即一般酒精或水銀溫度計。精密度約 0.5℃，雖可讀性差，但方便又便宜，應用較廣。變形溫度計，包括雙金條(bimetallic strip)及巴塘(Bourdon tube)或 filled-system 溫度計，準確性在± 1℃，適用於平均溫之觀測。這類型溫度計適合在環控生長箱使用。電測溫度計適用於自動記錄器選擇性的感應器(sensor)，可遠距觀測，電測溫度計分爲熱偶溫度計(thermocouple)及熱阻體溫度計(thermister)兩型。兩者都廣泛用於具微處理機之資料蒐集機(data logger)(Campbell *et al.*, 1990)適當氣溫觀測須離地面 1 至 1¼公尺，空氣流通，避免直接日射及牆或地面之反射(羅，1972)。在水稻病害流行學研究上，採用自計溫濕度計，能連續一星期紀錄溫度。

2.水分觀測

相對濕度(relative humidity)，葉面濕潤(leaf wetness)雨(rain)及土壤水分(soil moisture)爲流行病學研究最常觀測之水份變數。

用以觀測相對濕度之濕度計(hygrometer)包含四種基本型式：(1)觀測空氣溫度；(2)吸水物質物理空間之變化；(3)表面水膜之凝結；(4)物質吸收水分之電性變化。每種濕度計都有不同的操作原理，使用時務必瞭解其潛在限制及問題。乾濕球溫度表(Psychrometer)包括乾球及濕球兩種溫度計。乾濕兩種溫度測量應在鄰近或同一植物冠層(canopy)及同一高度進行(Friesland and Schrödter, 1987)。乾濕表使用時要經常維護，芯要保持乾淨，貯存充足水分。如果使用熱阻體(thermisters)乾濕計，要定期校正標準。如果使用 Assman 溫濕球溫度計，應通風及遮護，避免輻射。(Rosenberg *et al.*, 1983; Davis *et al.*, 1983)。相對濕度理想校正下，乾淨的乾濕球溫度表，配以準確的(± 1℃)的熱阻體，觀測誤差在 2%。第二型毛髮濕度計(hair hygrometer)，觀測 RH 應用最廣(Pennypacker, 1978; Rosenberg *et al.*, 1983)。使

用這型毛髮濕度計，須與通風濕度表(aspirated hygrometer)校對主要範圍之讀數。因爲毛髮在經過一段時間後會退滯，影響刻度之查看，濕而髒的毛髮，讀數不可靠。毛髮濕度計反應時間爲 5 分鐘，RH 迅速變動之環境條件下不適用。

表面水膜或露之凝結，可以直接測量大氣中的濕度。在露點濕度表(dew-point hygrometer)，露點溫度可藉測量一個經熱電冷却至發生凝結(露)程度的鏡面之表面溫度(Pennypacker, 1978; Rosenberg *et al.*, 1983)。一個光電池(photocell)檢測露之有無及一個紀錄由露水形成之溫度。這型感應器極爲準確，因儀器貴，系統易受塵垢污染，應用較少。

有許多型感應器利用吸收水氣影響電性之變化來測量(Rosenberg *et al.*, 1983; Fritschen and Gay, 1979)。磺化多苯乙烯濕度感應器(sulfonated polystyrene humidity sensor)就是利用水氣之吸收及解析作用(desorption)對電導度之效應。在植病流行學研究上連接微處理機資料蒐集系統(microprocessor-based data logger system)使用。RH 變動迅速，此型感應器可刻劃其變化(Sutton et al., 1988)。這種感應器在結氷以下溫度，尙具功能，適用週年監測 RH。感應器受濕或受污垢，功能就會喪失，輸出資料有誤差。感應器之使用期限爲 3 個月至 1 年不等，須經常校正讀數。

A.葉面濕潤觀測

露、霧、溢泌(guttation)、灌溉或雨所造成的葉面濕潤，影響葉部病原體對病害流行之效應。而且，爲許多病害預報器(disease forecaster)之關鍵要素。表面濕潤時間(duration of surface wetness)爲流行病學研究最具趣味之變數，無論量或型態，例如小滴及薄膜，都具重要性(Van der Wal, 1978)。然而，表面濕潤之觀測，不僅要注意觀測期(measurement phase)，而且要小心詮釋所讀取之資料。在闡明病理系統中組成分間之關係時，錯誤或誤解的結果，都會導致無效結論。

葉面濕潤之觀測，必須在植物冠層內實施，才具意義。在植物冠層會遇到各種變異，如植株之型態特徵、結構、密度之變異，均可能發生，必須考慮將感應器放在最適當的位置；或放置多個感應器，以反應葉面濕潤持續時間(Friesland and Schröter, 1987)。

一般而言，感應器是以間接方式測量植物表面之濕潤，觀察並記錄感應器之濕潤與否，而非濕潤植物表面。當使用機械或電子儀器時會造成一些困擾；因人工蒐集與感應器探測之表面的理化特性，並不一定相同。人造表面在露水形成及停留(retention)之過程中，可能產生不同反應，這些差異可能引致測量之濕潤時間與實際葉面及果面濕潤持續時間發生相當差異。最佳解決之道，乃在選擇感應器時，務必選擇介面與近似實際關係之寄主器官表面者。

測量葉面濕潤有兩種方法：一爲利用機械濕脹縮的效應，一爲電子感應器之電阻效應。觀測之機械儀器(Mechanical instruments)有 deWit 葉面濕時計(Post, 1959)，曾經在植病研究上有效利用(Sutton *et al.*, 1984)，其改良型可以同時記錄溫度及濕潤時間(Zuck and MacHardy, 1981)。由雨造成的濕潤時間也可以測量，而且相當準確。然而，要鑑定區別是由露水、霧或細雨所引起，這種麻線感應器效果較差(Jones, 1986)。1984 年，Sutton 指出霧週期在胡蘿蔔、蘋果、及馬鈴薯葉部可以估計相當準確(誤差＜1 hr)，但在洋蔥則在不同生長期有低估或高估的現象。這種型濕潤記錄器(Wetness recorder)應用於蘋果(Sutton *et al.*, 1987)及大豆流行病學研究上(Rupe and Ferriss, 1987)。另有利用羊小腸細長片吸濕脹縮效應之葉面濕潤計(Wallin and Polhemus, 1954)。另一種替代型機械設計，泰勒氏濕潤計(Taylor

wetness recorder)(Taylor, 1956)，採用一種特製無法抹消的鉛筆，直接觸及玻璃表面，濕潤時，畫出顯著線條，當放置妥當時，簡單的設計也可測量可靠的濕潤週期(Lomas, 1965)。

電子儀器(Eletronic instruments)，測量濕潤的電子探測裝置(eletronic sensing device)，包括兩種金屬線(wire)，一為金屬線絲夾(wire clip)及一為金屬片(metal strips)做為電極(electrodes)，平行裝置，供為人工葉面(artificial leaf surface)，有時電極可直接接觸到葉表面。夾型(clip-type)感應器，如鎳線(0.25-mm)電極，可直接繫住或夾住植物葉部(Sutton *et al*., 1988)。如果需要進行葉面濕潤時間的空間抽樣，可以將數個夾子連接在一個平行電路(circuit)上，放置在冠層不同的高度位置。夾型感應器相當堅固，可以非常有效地用於植物器官，亦不易為強風吹落；但是，必須定期檢查與植物體之接觸是否良好，如果植物組織受到夾傷，可能漏出汁液而顯示假的正濕潤讀數。唯一可能發生的問題，是乾組織在接觸高RH所產生的反應，感應器務須校核。

上述兩種感應器在植物流行病學研究上，已被廣泛採用。為使感應器與觀測植物之器官反應相近，兩種感應器均可以橡膠液為底的油漆來上漆(Sutton *et al*., 1987)，使漆面對初始濕潤(initial wetness)高度敏感，潤濕很快就被漆吸收。1988 年，Sutton 等推薦較少添加物(additive)較便宜比高價格漆更好的配方：125 份 Pittsburg 88-6 白橡膠漆，20 份水，1 份綠色酞菁染料(phthalocyanine)。漆好之感應器在 100℃乾燥 24 小時，在蒸餾水浸漬 1 小時，再以 100℃乾燥 24 小時。這種感應器之效果與泰勒機械式濕潤記錄器功效相同，曾應用於監測苜蓿(Von Chong, 1988)、玉米(Gillespie and Kidd, 1978)、洋蔥(Sutton et al., 1978)、小麥(Huband and Butler, 1984)、及草莓(Grove *et al*., 1985)等作物之葉面濕潤時間。

B.表面濕潤之預測

若無濕潤感應器可資利用時，而又需要濕潤時間的估計值。傳統上，以 RH ≥ 90%之小時數作為估計值。因為標準氣象測站，只有RH 值而無濕潤記錄。而，這種間接估計廣受採用。可惜，這種估計方法在濃密冠層條件下，如穀類作物，就不正確；對密度低(低葉面積指數)，如果樹及蔬菜作物可能比較常用(Thompson, 1981)。1979 年 Gillespie 及 Sutton 提出替代估計方式，即以雲量百分率(percent cloud cover)、風速、降水時間為基數來換算。

如果要從其他氣象變數資料估計葉面濕時(leaf wetness duration, LWD)，必須先進行校準研究(calibration study)。在各種組合環境條件下，觀測濕時(用上述感應器之一測量)，RH 及其他變數，而後纔能根據其他變數發展出預測葉面濕時之模式。

LWD 估計模式分為經驗(empirical)與物理(physical)兩種類型。前者相對濕度模式(RH model)，後者如能量平衡方程式(Huber *et al*., 1992)。而，Gleason et al 發展出非參數經驗模式(nonparametric empirical model)，應用分類及迴歸樹形分析(classificaiton and regression tree, CART)及逐步線性鑑別分析(Stepwise linear discriminant analysis, SLD)。採用CART/SLD 模式比 RH＞90%模式或人工神經網絡模式(artificial neural network model)估計LWD 更為準確(Francl *et al*., 1997)。2002 年Kim 等報告指出，將 0.3 m 高度校正 SKYBit 風速估計值輸入 CART/SLD 模式；換言之，即以 CART/SLD Wind model 與專利模式(SkyBit wetness)或 CART/SLD 模式，使用 10-m 高風速估計值作比較，無論是在宜露(20:00~9:00)或不宜露(10:00~19:00)週期內均較準確。

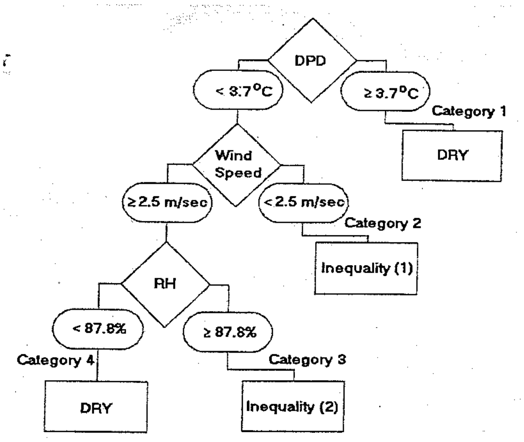


圖 5. 預測濕潤時間之分類樹形圖。

Fig. 5. Classification tree for prediction of wetness duration.

C.雨之觀測

雨(rain)爲環境變數之一，其各種屬性(attributes)對植物病害之流行影響甚鉅。其中空間與時間之若干屬性，具潛在之影響力，如降雨時間，每一時間週期內之降雨頻率及持續時間；強度特徵，如數目、大小及水滴速率，每一週期降水量(如 1 mm/hr)，水花特性(splash characteristics)、熱效應及酸度水準(acidity level)等(Fitt and McCartney, 1986)。有時，雨水對植物葉面濕潤之作用比露水還來得重要。一般圓筒狀(cylindrical)及各形雨量器，可刻劃出線條，用以區別適合的增量，須常檢測，唯一缺點無法記錄降雨時間。

目前，應用最廣泛的是傾斗式雨量計(tipping-bucket gauge)，此型式優點利於連續遙測；而其缺點則在紀錄降雨時間之靈敏度較差。連接資料記錄器之傾斗式雨量計，可記錄雨量及降雨時間。

D.土壤水分

土壤水分(Soil moisture)， 以土壤水分潛勢(soil water potential)爲指標。不僅在根部病害流行學之研究爲重要之因素，因其直接影響莖葉部分之生長，在許多莖葉病害之研究，亦列入重要因素之一。

總水分潛勢(total water potential)，由總矩潛勢(total metric potential)，溶質潛勢(solute potential)，重力潛勢(gravity potential)所構成(Hillel, 1980)。土壤水分，可能是最難測量，而且在流行學研究上最被輕忽的一個因素。

土壤水分含量(soil moisture content)可以由比較土壤樣本乾濕重量而求得：

$$\text{水分含量}(\%) = \frac{\text{濕重} - \text{乾重}}{\text{乾重}} \times 100$$

連續觀測，可採用電阻板(electrical resistance block)及熱偶乾濕球溫度表/濕度計(thermocouple psychrometer / hygrometer)。熱偶乾濕球溫度表或濕度計連續觀測土壤水分比電阻板更爲有效(Sutton *et al.*, 1988)。

土壤水分潛勢(soil water potential, bars)可以由下式求得：

$$\text{water potential} = \left(\frac{RT}{M_w}\right) \ln \left(\frac{e_a}{e_s}\right)$$

R 爲氣體常數(8.314 J/kg·degree-K·mol)，T 爲 degrees Kelvin，M_w是水分子量(18.016)，e_a爲土壤汽壓(vapor pressare)，e_s爲與土壤水分同一溫度下之飽和水汽壓。

(三)風之觀測

風(wind)的最大功能，在於將傳染源或媒介從一個植物冠層傳播至另一冠層，或者從一塊田、地方、國家傳播到另一塊田、地方、國家。此外，風砂磨傷的植物表面，更易爲病原體之侵入口。

空氣在植物冠層移動現象之描述，包含水平風速平均、風向、亂流(turbulence)，如陣風(gusts)、旋風(eddies)等。雖然，亂流在傳染源釋放及分散作用不失爲主要因素之一，然而，

過去之重點都集中在平均風速及風向之觀測。多年來，平均風速之測量採用轉杯式風速表(cup anemometer)，用以測量平均風速；並且可以連接資料蒐集機系統使用。這種儀器在風速增強時之反應比減弱時爲快。在陣風時，可能超估 10–15%(Rosenberg *et al.*, 1983)。

電溫(thermoelectric)風速計及音波(sonic)風速計對低風速敏感，當有陣風或旋風，引起風速急速改變時，反應迅速，適合流行病學研究之應用(Rosenberg *et al.*, 1983)。杯形風速計僅爲水平方面，而熱電風速計是多方向的，其缺點較脆弱，須經常校正。音波風速計之缺點在冠層內之植物體反應聲音，可干擾讀數。

(四)輻射觀測

輻射(radiation)爲氣象要素之一，物體向外發射電磁波或粒子的形成及其輸送的能量(林，1986)。太陽輻射的熱效應，直接影響植物體的物理和各種生理活動的進行。植物流行病學研究很少涉及。輻射的效應，部分由於缺乏理解。此外，如 1978 年 Pennypacker 所指，許多研究者缺乏設備，可以正確地觀測植物體或病原體之輻射度(irradiance)。

輻射表(Radiometer)用來測量所有能量波長或選定之波段。最常用者，爲總輻射表(pyranometer)，又稱總日射表，用以測量直接輻射的通量(flux)。Eppley 輻射表，用黑白隔片感受面探測，元素爲熱電堆(thermopile)，根據溫差電動勢的大小，求得太陽輻射的強度(Rosenberg *et al.*, 1983)。由於電熱堆輻射表幾乎能反應整個太陽光譜，適用於植物冠層內外。而，矽光電池總輻射表(silicon photocell pyranometer)經濟精緻，可測量輻射度(irradiance)，可用於資料蒐集機系統，由於其光譜反應有限，只適合作物上面及旁邊監測。

輻射(照)度之單位爲 Wm^{-2} 或 $Jm^{-2}S^{-1}$ 有時輻射研究特定波長，如 400 nm，或超出電磁光譜(electromagnetic spectrum)之一段，例如光合有效輻射(photosynthetically active radiation, PAR)測量超出 400–700 nm，而此波段與植物對輻射的反應有關。此外，Wm^{-2} 使用在 400–700 nm 輻照度範圍內，每單位表面單位時間內光子(photon incident)數爲 PAR，即 $\mu E\ m^{-2}\ S^{-1}$，其 E(Einstein)爲一個 mole 光子。光照度(illuminance)之觀測如 lux 不能用於表徵輻射度(irradiance)，因其讀數，係調和人類眼睛對光強度之敏感性而設計。

五、監測資料之分析及應用

(一)資料之分析

1.病勢進展曲線之分析

植物族群中之病害數量(amount of disease)經過數次評估，其結果可以用病勢進展曲線(disease progress curve)集合描述。病勢進展曲線，可說是病害強度對測量時間的曲線圖(graph)，是流行病的徵象(signature)，它描述病害流行期間所有寄主、病原及環境效應發生之整合(integration)。病勢進展曲線，反應病害流行程度提供分析、比較及瞭解植物流行病之機會。每一病勢進展曲線由以下各部分組成；始發時間(time of disease onset)，始發病量(Y_0)，傳染速率(r)，發病曲線下面積(AUDPC)，曲線型態(slope)，最高發病率(Ymax)，最終發病量(Y_f)，發病持續期(overall duration)。(Campbell *et al.*, 1990)。

近廿年來，病勢進展模式化已成爲描述植物病害不可或缺的部份。而，病勢進展曲線常應用各種生長模式 (Growth model) 來配合。這些模式，可稱爲非直線型迴歸模式(nonlinear regression model)。一般常用的生長模式有以下各種：Exponential, Monomolecular, Logistic, Gompertz, Log-logistic, Richards, Weibull 模式等，如表 3 所示。

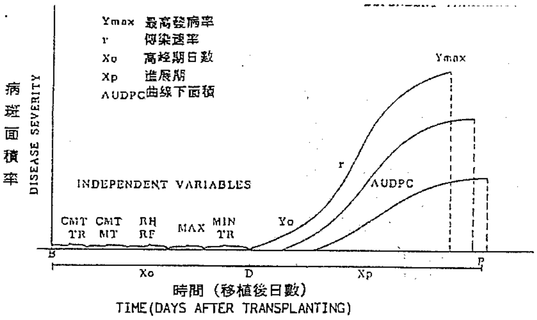


圖 6. 病勢進展曲線要素與分蘖盛期以前某期間氣象要素之關係。(Huang, 1988)

Fig. 6. Relation of elements of disease progress curve and meteorological variables.

表 3. 一般常應用於病勢進展資料分析之生長模式。

Table 3. Growth models that have been used for analysis of disease progress data.

Model	Equation
Exponential	$y=y_o \exp(r_E t)$
Monomolecular	$y=1-[(1-y_o)\exp(-r_M t)]$
Logistic	$y=1/[1+\exp(-\{\ln[y_o/(1-y_o)]+r_L t\})]$
Gompertz	$y=\exp[\ln(y_o)\exp(-r_G t)]$
Log-logistic	$y=1/\{1+[(1-y_1)/y_1]\, t^{-r_{LL}}\}$
Richards	$y=[1-B\exp(-r_R t)]^{1/(1-m)}$ if $m<1$
	$B=1-y_o^{(1-m)}$
	$y=[1+B\exp(-r_R t)]^{1/(1-m)}$ if $m>1$
	$B=(y_o)^{1-m}-1$
Weibull	$y=1-\exp\{-[(t-a)/b]^c\}$

(1)生長曲線模式中之 Y_0 及 r。

多數病勢進展模式都有表示初發病量(Y_0)或 Y_0 之轉換值(B)，及增加速率(r)。當 t = 0，參數 Y_0(或 B)僅爲對應預測之 Y(或其轉換值)之積分(integration)。因此，其值依 t 之零點選定。假設 t = 0 在種植日，則 Y_0 即爲種植日之估計值 Y；假設 t = 0 在第一次評估日，則 Y_0 即爲種植日之估計值 Y。顯然，Y_0 爲任意常數值，`只要零時之意義已知就可以詮釋。

如果數種病勢進展曲線在同一時間尺度(time scale)及零時算出，則 Y_0 可以輕易地作一比較，在病害初發時 Y 水準之差異。

速率參數 r 對應於多種生長模式(exponential, logistic, monomolecular, Gompertz, Richards)之 t 線性後斜率(slope)。而，log-logistic 模式；r、Y 之斜率對應於 In (t)。在兩個任意時間 t1 及 t2，平均 r (r)即 $r = (Y_2 - Y_1) / (t_2 - t_1)$，除環境之適宜性(favorability)外，寄主感受性(susceptibility)及病原之致病性(aggressiveness)對 r 具均決定性之影響。

(2)病勢進展曲線下面積

某些植物病並不能以上述生長模式來描述病勢之進展，可能由於 dy/dt 之波動(fluctuation)或 Y 對 t 之圖形呈不規則之型態。因此，爲了簡述病勢進展曲線用來比較及分析目的，則以 AUDPC 來做流行病之描繪因子(descriptor)。病害初發時間，r 及最終發病率(Y_f)都含於 AUDPC。AUDPC 純爲二個時點之間 Y(病害強度)積分。可以採用中點法則(midpoint rale)或梯形積分法則(trapezoidal integration method)求近似值。AUDPC 估計公式爲：

$$AUDPC = \sum_{i}^{n-1}\left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2}\right)\left(t_{i+1} - t_i\right)$$

2.類推法分析

類推法分析又稱類比(analogues)的分析法，這是探求存在於現在中的未來因素的方法。(1)橫斷比較法：取同一時間各地之資料來作比較分析，以預測未來演變的方法；(2)先行指標法：以現在的某些現象反映出來的跡象作爲指標。現代之先行指標宜爲定量的指標，與古人之以「物候」爲徵之經驗法則不同(黃，1997)。

這類預測方法屬經驗法則(empirical rules)，又稱經驗模式(empirical model)，如像馬鈴薯晚疫病的 Hyre 氏法和 Wallin 法、蘋果

黑星病的 Mills 預測表等，都已有幾十年的歷史。稻熱病氣象型之預測法，利用 AMeDAS 資料之預測法，通發指數法之預測均屬之(黃，1990) 。

3.相關及迴歸分析之應用

病害預測爲植物病害及氣象因素之監測，主要目的之一。相關及迴歸分析爲廣泛採用的方法。

(1)簡單直線迴歸分析法

簡單直線迴歸分析式以 $Y = b_0 + b_1 X$ 來表示。係以某特定時期之個別氣象要素與病害發生程度關係所建立之模式。發生程度之表示方法，依採用之空間屬性而有不同：因此就有病葉率、病莖率、發生面積種種預測模式。以葉稻熱病爲例，日本廣島縣，以病葉率爲 Y，七月第五半旬之降水量爲 X，建立 $Y = 0.46 + 0.0126 (X - 13.04)$之關係式；宮崎縣則以病莖率爲 Y，六月中旬至七月上旬之時數爲 X，建立 $Y = -0.51X + 137.32$ 之關係式。福井縣紋枯病發生面積(公頃)可用單迴歸 $y = 245.695 - 28.56x$ 表示，x 爲前年十月至四月合計平均濕度。

(2)複線性迴歸分析法

在簡單直線迴歸模式 $Y = b_0 + b_1X$，只以一個氣象變數來解釋病害變數。事實上，影響該特定變數 Y 的並非只有一個，爲了充分且正確地解釋或預測，就有建設立複迴歸(多元迴歸)的必要。其意義和運算方法與簡單直線迴歸相似，每一自變數之値，亦皆預先選取並予固定，例如 Y 取決於 X_1、X_2、……、X_k，即複迴歸模型爲：

$$Y = b_0 + b_1X_1 + B_2X_2 + b_3X_3 + \ldots\ldots + b_kXk$$

(二)模式之應用

應用氣象因素與病勢進展關係所建立的模式，有三種類型，即經驗法則，統計模式及系統分析模式。三種模式，針對作物病害之發生與蔓延編發預報。按預報分爲發生期、發生量的預報。按預報時效可分爲長期趨勢預報、中期預報及短期預報，在病害發生幾天或十幾天前發出病害預測，屬中期預報；有些預測方法，係以每日風險指數爲預測指標，發出感染預測，屬短期預報。表 4 列舉 1966 年以來，部分病害及感染預測之實例，決定防治適期或施藥時間，以感染預測法較爲實用。

五、結語

植物病害管理總體結構，由三道防護網所組成。第一層防護網，爲摒拒病害侵入之措施。第二層防護網，爲限制病害之始發族群。第三層防護網，爲田間病害之最小限度化。第一道防護措施，主要目的爲避免作物與病原體直接接觸，如採用健康種苗，避免種子及土壤傳染波及感染之田園；包括嚴格檢疫，種子檢驗，種子健康檢查等技術措施。第二道防護措施，主要目的在生育初期，將病害族群壓制在「經濟危害水平」以下。第三道防護措施，包括採用抵抗性品種，施用農業藥劑，調整土壤酸鹼値、肥力、水管理等。其中第二、第三道防護措施與施藥防治有密切的關連。而，施藥多寡與否，受氣象因素之制約。

多年來，歐美各國植病及相關學者專家，無不努力找出適當的病害預測方法，建立防治適期的預報系統，使農藥施用量儘可能減少，做到及時、經濟而有效的防治。由於氣象因素，如溫度、水份、風及輻射等均能影響植物病害之發生及流行。因此，進行氣象因素及病勢進展之監測有助於發展預測模式，提供研判防治適期之資訊。

表 4. 應用氣象變數之預測系統。
Table 4. Selected forecasting systems based on meteorological factors.

Disease	Host	Forecasting system	Meteorological factors	Authors
葉稻熱病	水稻	BLASTAM	T, PR, DS, WS, WD	越水 (1982)
		初發期預測	T, RH	黃 (1990)
		盛行率預測	T, RH, DS, PD, PR, EV, WS, TR	黃 (1983)
紋枯病	水稻	BLIGHTAS	T, RH	川西 (1995)
早疫病	番茄	FAST	T, RH, PR	Madden & Pennyparcker (1978)
葉斑病	胡蘿蔔	感染預測	T, RH, PR	Gillespie & Sutton (1979)
晚疫病	馬鈴薯	BLITCAST	T, RH	Krause (1975)
		否定感染預測	T, RH, RF	Shrödter & Ullrich (1966)
黑點病		MERAN	T, RH, RF	小泉(1986)
露菌病	葡萄	感染預測	T, LWD, RH	Ellis et al. (2000)
串腐病	葡萄	感染預測	T, LWD, RH,RF	Broom & Aviles. (1995)
灰黴病	草莓	感染預測	T, RF, LWD, VP, VPD	Xu at el (2000)
菌核病	落花生	感染預測	RH, RF, Soil T.	Phipps at el (1997)

註：T: temperature, PR: precipitation, DS: duration of sunshine, WS: wind speed, WD: wind direction, RH: relative humidity, EV: evaporation, TR: temperature range, RF: rainfall, LWD: leaf wetness duration, VP: vapor pressure, WP: vapor pressure deficit.

因植物病害發生之型態各異，無論在病害田間抽樣調查或進行氣象變數之觀測，務必事先完善規劃，事先瞭解各種觀測儀器之特性，調查病害之屬性；瞭解分析方法及應用限制，才能進行整體研究。而研究之成功與否，與研究團隊之成員有密切關係，研究團隊中除植物保護人員外，包括氣象學、統計學、作物學及電腦技術等專技人才。以不同科技研究人員組成之團隊，對提昇預報實質功能才有助益。

六、引用文獻

林曄。1986。輻射。p.57。中國農業百科全書：農業氣象卷。農業出版社印行，北京。

胡中庸 1966 氣候學。p. 2–3。台灣商務印書館印行，臺北市。

曾士邁、楊演。1984。植物病害流行學。p.183。農業出版社印行，北京。

黃益田。1983。稻熱病流行學之研究。IV.葉稻熱病盛行率預測模式之發展。桃園區農業改良場研究報告 1:22–37。

黃益田。1991。稻熱病預測方法及系統。臺灣省農業試驗所特刊 32:31–36。

黃益田。1994。台灣西北區之氣象因素對水稻白葉枯病盛行率之影響。桃園區農業改良場研究報告 19:27–34。

黃益田。1997。氣象資料在水稻病害發生預測之應用。p.89–106。氣象因子與作物病蟲害發生研討會論文專輯。杜金池、楊純明，主編。中華農業氣象學會出版，臺中縣。

蔡武雄、蘇鴻基。1984。水稻葉稻熱病預測 I. 氣象變數與病斑進展。植保會刊 26: 171–180。

羅樹孝。1972。水文氣象學。p.36。徐氏基金會出版，臺北市。

小林次郎。1980。葉いもち發生初期における生態と予察。p.173–177。植物防疫三十年のあゆみ。日本。

川西健兒。1995。イネ紋枯病發生預測システム(BLIGHTAS)の香川縣版の作成とアメダスデータを利用した相對濕度の推定法と紋枯病シミユレーシヨンモデルへの適用。今月の農藥 1:24–32。

田中篤哉。果樹病害の發生預測法。p.149-152。果樹 野菜栽培にねける預測と診斷。化學工業日報社發行，日本。

松本和夫。1978。コンピユーターによる稲イもち病の発生予察。今月の農薬 22(13): 14–18。

越水幸男。1982。アメダス資料による葉いもち病の発生予察法。今月の農薬 26(1): 46–53。

橋本晃。1978。結露計による葉イもち病の発生予察法。今月の農薬 22(5):46–50。

橋本晃。1978。コンピユータによる稲いもち病の發生予察について福島縣の現狀。今月の農薬 22(13):25–28。

日本農業氣象學會。1994。平成の大凶作。日本農林統計協會發行，日本。

Analytis, S. and J. Kranz. 1972. Über die Korrelaion Zwischen Befallshaufigkeit und Befallsstarke bei Pflanzenkrankheiten. Phytopathol. Z. 73:201–207.

Campbell, C.. L. and L.V. Madden. 1990. Monitoring Epidemics: Disease. p.107–128. *In:* Introduction to Plant Disease Epidemiology. A Wiley-Interscience Publication, New York..

Chester, K. S. 1950. Plant disease losses: their appraisal and interpretation. Plant Dis. Rep. Suppl. 193:190–362.

Chuang, T. Y. and M. J. Jeger. 1987. Relationship between incidence and severity of banana leaf spot in Taiwan. Phytopathology 77:1537–1541.

Coakley, S. M. 1985. Describing and quantifying the environment. Plant Dis. 69:460–466.

Croxall, H. E., D. C. Gwynne and J. E. E. Jenkins. 1952. The rapid assessment of apple scab on leaves. Plant Pathology 1:39–41.

Davis, J. M., R. I. Bruck, G. B. Runion and F. L. Mowry. 1983. An aspiration system for meteorological sensors used in epidemiological studies. Phytopathology 73:1246–1249.

Dixon, G. R. and J. K. Dodson. 1971. Assessment keys for some diseases of vegetable, fodder, and forage crops. J. Natl. Inst. Agric. Bot. (G. B.) 23:299–307.

Esker, A. B. and M. Toma-Braghini. 1981. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). FAO Plant Prot. Bull. 29:56–66.

Fitt, B. D. L. and H. A. McCartney. 1986a. Spore dispersal in relation to epidemic models. p. 311–345. Plant Disease Epidemiology, Vol. 1: Population Dynamics and Management. L. J. Leonard and W. E. Fry, eds. Macmillan, New York.

Fitt, B. D. L. and H. A. McCartney. 1986b. Spore dispersal in splash droplets. p.87–104. Water, Fungi, and Plants. P. G. Agrios and L. Boddy, eds. Cambridge University Press, Cambridge.

Francl, L. J. and S. Panigrahi. 1997. Artificial neural network models of wheat leaf wetness. Agric. For. Meteorol. 88:57–65.

Fritschen, L. L. and L. W. Gay. 1979. Environmental Instrumentation. Springer-Verlag, Ner York. 216 pp.

Friesland, H. and H. Schrödter. 1987. The analysis of weather factors in epidemiology. p.115–134. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. J. Kranz and J. Rotem, eds. Springer, Berlin.

Fry, W. E., O. C. Yoder and A. E. Apple. 1984. Influence of naturally occurring marker genes on the ability of *Cochliobolus heterostrophus* to induce field epidemics of Southern corn leaf blight. Phytopathology 74:175–178.

Gillespie, T. J. and G. E. Kidd. 1978. Sensing duration of leaf moisture using electrical impedance grids. Can. J. Plant Sci. 58:179–184.

Gillespie, T. J. and J. C. Sutton. 1979. A predictive scheme for timing fungicide applications to control alternaria leaf blight in carrots. Can. J. Plant Pathol. 1:95–99.

Goster, G. J. M. A. 1974. Methods of assessing cucurbit powdery mildew (*Sphaerotheca* filigenea) in terms of fungicide evaluation. S. Afr. J. Sci. 70:7–9.

Grove, G. G., L. V. Madden and M. A. Ellis. 1985. Splash dispersal of *Phytophthora cactorum from infected strawberry fruit. Phytopathology 75:611–615.*

Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic, New York. 413 pp.

Horsfall, J. G.. and R. W. Barratt. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. Phytopathology 35:655 (Abstr.).

Horsfall, J. G.. and E. B. Cowling. 1978. Pathometry: The measurement of plant disease. p.119–136. Plant Disease. Vol. 2. How Disease Develops in Populations. J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds. Academic, New York,

Huang, Y. T. 1988. Development of models for forecasting rice leaf blast in Taiwan. Doctorate Dissertation. Tokyo Univ. Japan.

Huband, N. D. S. and D. R. Butler. 1984. A comparison of wetness sensors for use with computer or microprocessor systems designed for disease forecasting, Vol. 2. Proc. Br. Crop. Prot. Conf. p.633–638.

Huber, L. and T. J. Gillespie. 1992. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. Ann. Rev. Phytopathol. 30:553–577

Imhoff, M. W., K. J. Leonard and C. E. Main. 1982. Analysis of disease progress curves, gradients, and incidence-severity relationships for field and phytotron bean rust epidemics. Phytopathology 72:72–80.

Jackson, R. D. 1986. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. Ann. Rev. Phytopathol. 24:265–287.

James, W. C. 1971. An illustrated series of assessment keys for plant diseases, their preparation, and usage. Can. Plant Dis. Surv. 51:39–65.

James, W. C., and C. S. Shih. 1972. Relationship between incidence and severity of powdery mildew and leaf rust on winter wheat. Phytopathology 63:183–197.

James, W. C. 1974. Assessment of plant diseases and losses. Ann. Rev. Phytopathol. 12:27–48.

Jones, A. L. 1986. Role of wet periods in predicting foliar diseases. p.87–100. Plant Disease Epidemiology, Vol. 1: Population Dynanics and Management. K. J. Leonard and W. E. Fry, eds. Macmillan, New York.

Kim, K. S., S. E. Taylor, M. L. Gleason and K. J. Koehler. 2002. Model to enhance site-specific estimation of leaf wetness duration. Plant Dis. 86:179–185.

Kranz. J. 1970. Schätzklassen für Krankheitsbefall. Phytopathol. Z. 69:131–139.

Kranz, J. 1988. Measuring plant diseases. p.35–50. Experimental Techniques in plant Disease Epidemiology. J. Kranz and J. Rotem, eds. Springer, Berlin.

Krause, R. A., L. B. Massie and R. A. Hyre. 1975. Blitecast: a computerized forecast of late blight of potato. Plant Dis. Rep. 59:95–98.

Lee, S. and J. O. Rawlings. 1982. Design of experiments in growth chambers—uniformity in the NCSU phytotron. Crop Sci. 22:551–558.

Lindow, S. E. and R. R. Webb. 1983. Quantification of foliar plant disease symptoms by microcomputer-digitized video image analysis. Phytopathology 73:520–524.

Lomas, J. 1965. Note on dew duration recorders under semiarid conditions. Agric. Meteorol. 2:351–359.

Madden, L. V., S. P. Pennypacker and A. A. MacNab. 1978. FAST—a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. Phytopathology 68:1354–1358

Madden, L. V. 1986. Statistical analysis and comparison of disease progress curves. p.55–84. Plant Disease Epidemiology, Vol. 1: Population Dynamics and Management. L. J. Leonard and W. E. Fry, eds. Macmillan, New York.

Madden, L. V. and C. L. Campbell. 1986. Descriptions of virus disease epidemics in time and space. p.273–293. Plant Virus Epidemics: Monitoring, Modelling, and Predicting Outbreaks. G.. D. McLean, R. G. Garrett and W. G. Ruesink, eds. Academic, Sydney.

Mitchell. J. M., Jr. 1980. History and mechanisms of climate. p.31–42. Das Klima-Analysen und Modelle, Geschichte und Zukunft. H. Oeschger, B. Messerli and M. Svilar, Eds. Springer-Verlag, Berlin.

Moore, W. C. 1943. The measurement of plant diseases in the field. Trans. Br. Mycol. Soc. 26:28–35.

Pennypacker, S. P. 1978. Instrumentation for epidemiology. p.97–118. Plant Disease. Vol. 2: How Disease Develops in Populations. J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds. Academic, New York,

Phipps, P. M., S. H. Deck., D. R. Walker. 1997. Weather-Based crops and disease advisories for peanut in Virginia. Plant Disease 81(3):236-244.

Post, J. J. 1959. Het instrumentarium voor het bepalim van infecteperioden. Meded. Dir. Tuinbow Neth. 22:365–371.

Rayner, R. W. 1961. Measurement of fungicidal effects in field trials. Nature 190: 328–330.

Rosenberg. N. J., B. L. Blad and S. B. Verma. 1983. Microclimate: The Biological Environment. Wiley, New York. 495 pp.

Rotem, J. 1978. Climate and weather influence on epidemics. p.317–436. Plant Disease, Vol. 2: How Disease Develops in Populations. J. G. Horsfall and A. E. Dimond, eds. Academic, New York.

Rouse, D. I., D. R. Mackenzie, R. R. Nelson and V. J. Elliott. 1981. Distribution of wheat powdery mildew incidence in field plots and relationship to disease severity. Phytopathology 71:1015–1020.

Rupe, J. D. and R. S. Ferris. 1987. A model for predicting the effects of microclimate on infection of soybean by *Phomopsis longicolla.* Phytopathology 77:1162–1166.

Seem. R. C. and H. D. Gilpatrick. 1980. Incidence and severity relationships of secondary infections of powdery mildew on apple. Phytopathology 71:947–950.

Seem, R. C. 1984. Disease incidence and severity relationships. Ann. Rev. Phytopathol. 22:137–150.

Seem, R. C. and S. P. Eisensmith. 1986. What's wrong with the Julain day? Phytopathology 76:41.

Shaner. G. E., R. M. Peart, J. E. Nenman, W. L. Stirm and O. L. Lower. 1972. EPIMAY. A plant disease display model: An evaluation of the computer simulator for Southern corn leaf blight in Indiana. Purdue Univ. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 890. 15pp.

Shaner, G.. and R. E. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. Phytopathology 70:183-1186.

Shaw, M. W. and D. J. Royle. 1987. Spatial distributions of *Septoria nodorum* and *S. triticii* within crops of winter wheat. Plant Pathol. 75:936–939.

Strandberg, J. O. 1988. Establishment of Alternaria leaf blight on carrots in controlled environment. Plant Dis. 72:522–526.

Sutton, J. C., C. J. Swanton and T. J. Gillespie. 1978. Relation of weather variables and host factors to incidence of airborne spores of *Botrytis squamosa.* Can. J. Bot. 56:2460–2469.

Sutton, J. C., T. J. Gillespie and P. D. Hildebrand. 1984. Monitoring weather factors in relation to plant disease. Plant Dis. 68:78–84.

Sutton, T. B., E. M. Brown and D. J. Hawthorne. 1987. Ecology and epidemiology of *Mycosphaerella pomi,* cause of Brooks fruit spot of apple. Phytopathology 77: 431–432.

Sutton, J. C., T. J. Gillespie and T. D. W. James. 1988. Electronic monitoring and use of microprocessors in the field. p.99–113. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology. J. Kranz and J. Rotem, eds. Springer-Verlag, Berlin.

Taylor, C. F. 1956. A device for recording the duration of dew deposits. Plant Dis. Rep. 40:1025–1028.

Tehon, L. R. and G. L. Stout. 1930. Epidemic diseases of fruit trees in Illinois 1922–1928. *Ill.* Nat. Hist. Surv. Bull. 18:415–502.

Thompson, N. 1981. The duration of leaf wetness. Meterol. Mag. 110:1–12.

Tottman, D. R. and R. J. Makepeace. 1979. An explanation of the decimal code for the growth stages of cereals, with illustrations. Ann. Appl. Biol. 93:221–234.

Van der Wal. A. F. 1978. Moisture as a factor in epidemiology and forecasting. p.253–295.Water Deficits and Plant Growth. Vol 5. T. T. Kozlowski, ed. Academic. New York.

Waggoner, P. E. and R. D. Berger. 1987. Defoliation, disease, and growth. Phytopathology 77:393–398.

Wallin, J. R. and D. N. Polhemus. 1954. A dew recorder. Science 119:294-295.

Weltzien, H. C. 1978. Geophytopathology. p.339–360.Plant Disease, Vol. 2: How Disease Develops in Populations. J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds. Academic, New York.

Weltzien, H. D. 1988. Use of geophytopathological information. p.237–242. Experimental Techniques in Plant Disease Epidemology. J. Kranz and J. Rotem, eds. Springer, Berlin.

Xu, X. M., D. C. Harris and A. M. Berrie. 2000. Modeling infection of strawberry flowers by Botrytis cinerea using field data. Phytopathology 90:1367–1374.

Zuck, M. G.. and W. E. Machardy. 1981. Recent experiences in timing sprays for control of apple scab: Equipment and test results. Plant Dis. 65:995–998.

Analysis and Monitoring of the Relations of Meteorological Factors to Plant Disease Epidemics

Yih-Tyang Huang
Taoyuan District Agricultural Improvement Station, Council of Agriculture, Taoyuan, Taiwan, ROC
E-mail: ythuang@mail.coa.gov.tw

ABSTRACT

This paper contains reviews of monitoring of the meteorological factors and the plant disease epidemics in the field and also of analysis of their relationships. For monitoring of disease epidemics, attributes of disease, timing and frequency of assessment and procedures for disease assessment, such as disease diagrams and scales, as well as remote sensing, are included. For monitoring of the environment for epidemiological studies, measurements of meteorological variables are discussed, including temperature, moisture (relative humidity, leaf wetness, rain, and soil moisture), wind, and radiation. Temporal analysis of epidemics, i.e. description and comparison of disease progress curves, including initial disease (Y_o), rate parameter (r), area under the disease progress curve (AUDPC), maximum disease severity (Ymax) and development of forecasting models through a study of the relationships of weather variables and disease epidemics are elucidated.

Key words: Meteorological factor, Plant Disease Epidemics, Disease monitoring and analysis.

農業氣象災害調查與防護技術
園藝作物天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施
35-48, 2003

園藝作物天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施

楊正山
行政院農業委員會臺東區農業改良場斑鳩分場
E-mail: 900@mail.ttdais.gov.tw

摘要 ---------- 36

一、前言 ---------- 36

二、天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施 ---------- 37

三、結語 ---------- 45

四、誌謝 ---------- 45

五、引用文獻 ---------- 46

ABSTRACT ---------- 47

園藝作物天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施

楊正山
行政院農業委員會臺東區農業改良場斑鳩分場
E-mail: 900@mail.ttdais.gov.tw

摘要

為加速天然災害查報及救助工作，以及災害後復建之進行，災害查報及救助工作，需兼顧時效、正確及詳實。然園藝作物種類繁多，受害程度複雜，於損害程度認定與評估上爭議頗多。前臺灣省政府農林廳邀集農業試驗改良場所之研究人員，共同進行調查及研究，建立園藝作物天然災害損害率之客觀指標，以提供調查及救助執行人員參考應用。經由調查作物生長習性、界定生育期、建立基本資料、災害發生時、拍照比對、評估損害情形及記述受害特性與程度，分析受害率，供評估實際損害率。同時提供災害防範及採取有效之因應措施，以為政府辦理研擬救助、補助及各項因應措施，協助農民迅速恢復生產之施政參考依據。故本計畫內容包括災害客觀指標照片及說明、因應作物損害率客觀指標表及災害防範與復耕復建措施等三大主題，目前業已完成有蔬菜 23 種，果樹 15 種及花卉 1 種之天然災害損害率之客觀指標及天然災害防範與復耕復建措施。

關鍵詞：園藝作物、天然災害、損害率、指標、復育。

一、前言

臺灣地處於亞熱帶與熱帶交會地區，四面環海，為屬於高溫多溼的海島型氣候，又是位於大陸邊緣之獨立性海島。氣象上包含各種複雜的氣候形態，同時又受到大陸冷氣團、海洋氣流、季節風及太平洋颱風之影響，氣候的變化極大又多變。雖然地理及氣候條件孕育作物種類繁多，但此種氣候多變及氣象條件之差異，卻也造成頻繁的農業天然災害，夏季高溫多溼且常有颱風及伴隨而來之豪雨，冬季及早春則有寒流及長期陰雨，還有雨量豐富卻分配不均所造成的水患與乾旱，另臺東地區特殊地形所造成的焚風等。農作物之生產受氣候因素影響很大，如氣候發生異常，對農作物經常造成災害而導致重大損失，此等天然災害，對園藝作物之生產，其影響更劇。

天然災害發生後，各級農情報告員按規定須立即進行災情調查、災害評估，憑其本身經驗在短時間內完成作物損害調查，再將調查結果作為政府辦理救助之依據，並研擬相關因應措施。惟執行多年以來，常有損害程度認定上的疑義發生，尤其園藝作物種類繁多，受害程度複雜，評估更加困難。

為正確客觀評估災害發生之狀況，方便各級農情報告員迅速完成災情調查，並在辦理救助工作時，能減少勘查認定上的爭議起見，乃由前臺灣省政府農林廳(現為行政院農業委員會中部辦公室)邀集農業試驗改良場所之研究

人員，共同進行調查與研究建立園藝作物天然災害損害率簡明指標，以提供調查及救助執行人員參考應用。

二、天然災害損害率客觀指標及復耕復育措施

臺灣地區農業氣象災害，包含有突發性的如颱風、豪雨、焚風，及連續性的如乾旱、寒害等。據統計，自 1951~1990 年 40 年間，作物遭受各種氣象災害之損失，包括風害、雨害、旱害與寒害等四種，其中以風害之損失居冠，佔 71%，損失高達新台幣 55,045,830 千元，其次為降雨造成之損失，佔 22.1%，損失金額為新台幣 17,100,534 千元，在此 40 年期間四種天然災害之總損失高達新台幣 77,478,975 千元正。而臺灣地區自 1897 至 1996 年近百年間侵襲臺灣颱風之各月次數統計，以八月為最多，高達 108 次，佔 31.03%，其次為七月及九月分別為 87 次及 78 次，即七月、八月及九月等三個月份颱風侵台次數即達 273 次，佔 78.5%，然颱風自四月份即開始侵台，迄十一月份仍有侵台記錄。

氣象學上說颱風是一種熱帶氣旋，即在熱帶海洋上發生之低氣壓，或在熱帶海洋上發生的一種非常猛烈的暴風雨。太平洋發生之熱帶低氣壓，最大風速每秒超過 17 公尺即形成颱風。中央氣象局將颱風等級，依中心最大風速分類為每秒 17.2~32.6 公尺者為輕度颱風，每秒 32.7~50.9 公尺者屬中度颱風，每秒大於 51 公尺之風速者稱為強烈颱風。

焚風現象發生時，其特徵為溫度驟升，可高達 35~39℃，溼度遽降，可降至 30~40%，風速增強，可達每秒 20~38.5 公尺。焚風吹襲期間，降雨現象停止。焚風對農作物之影響，除焚風本身之高溫低溼造成植物因蒸散作用致快速脫水枯萎外，開花授粉期間雌花柱頭之枯乾、缺乏黏液及花粉喪失活力，致著果率降低，影響產量外，強風亦將造成落葉、落花、落果或折枝等。焚風發生期間，可連續達數小時，如 91 年 5 月 15 日臺東縣卑南鄉斑鳩地區溫度忽然上昇至 38℃，溼度降至 29.7%，焚風現象自上午十時至下午五時止，連續七小時。焚風發生時期，以臺東地區為例，為 2~5 月間發生之焚風，大多由於強烈西南氣流所引起；另 7~9 月間則大多由一、二、四、六類型颱風所誘發。

一般而言，臺灣中南部的蔬菜產區的氣候情況，約自 4 月即進入雨季，10 月始進入乾季。其中 5 月中、下旬的梅雨季和夏季的颱風季節，經常會出現霪雨或豪雨。蔬菜葉片遭雨水打擊會產生破損或水傷；菜園積水過久，將導致植株根部缺氧而腐爛；地上部在雨後突逢烈日，則易萎凋而死。此外陣雨不歇，也減少授粉率及增加裂果及劣化率，因而影響果菜之產量與品質。颱風除了帶來豪雨外，強風也會導致作物根、莖及葉的機械性傷害，因而影響根部的吸收固定功能、莖的輸導作用及葉片的光合作用。蔬菜類的天然災害中以颱風、豪雨之為害最大，常造成重大損失，並影響農民收益，其災害程度與風速及所挾帶雨量成正比。颱風與豪雨為偶發性，危害時間極短，然破壞力大。歷年來其侵襲之途徑、次數、時間泰半均不相同，目前尚無法加以控制，僅能由氣象預測，再施以適當的防範與補救措施，期可將災害降低至最輕。

臺灣果樹種類包括熱帶、亞熱帶及溫帶等果樹，從南至北皆有種植，果樹種類又多，因此週年皆有果樹萌芽、開花、結果、收穫等生育期。當氣候發生異常時，皆會對某些果樹造成損害。如冬季及早春之低溫及長期陰雨，將造成熱帶果樹落葉與落果，溫帶果樹授粉不良，落花、著果率差等損害。夏季之颱風、豪雨則造成果樹倒伏、枝條斷裂、落葉、落花、落果等嚴重損失。

本項研究計畫期間自民國八十五年度起二年完成，經研商選擇調查之園藝作物，包括蔬菜 23 種，果樹 15 種及花卉 1 種。首先在平時由各試驗改良場所之作物方面專業人員，調查各種作物之生長習性，界定生長期，作為發

生災害時對照比較之基本資料。當災害來臨，則調查評估災害損失情形，將之拍照留存並與平時之資料比對差異，藉以分析災害受害率。並綜合各種不同受害情況，分析不同程度之受害特性。爲使本指標之內容更爲實用，除詳述各種作物遭受災害之基本資料及照片外，並列表分析不同程度之受害特性，以利評估實際損害率。最後並附有災害防範及復耕復建措施，以供工作人員於勘災時，亦能即時指導農民防範及採取有效之因應措施。故該計畫之內容包括災害客觀指標照片及說明，作物損害率客觀指標表，災害防範及復耕復建措施等三大主題。每一主題再分別以蔬菜(根莖菜類、葉菜類、花菜類、瓜果類)、果樹、花卉等三個子題，按損害率百分比由低至高之順序排列，使相關業務承辦人員能針對所需要的內容作立即性的查詢，以儘快獲得資料與現場情況作比對，而作出較爲公正合理的受災情形認定，進而達到迅速救災之目的。

參與園藝作物天然災害損害率客觀指標之研究機關與人員：

	機 關 名 稱	人員姓名	
(一)蔬菜：	桃園區農業改良場	許苑培	
	臺中區農業改良場	郭俊毅	戴振洋
	臺南區農業改良場	林文助	楊紹榮
	花蓮區農業改良場	鄭書杏	
(二)果樹：	嘉義農業試驗分所	黃阿賢	
	鳳山熱帶園藝試驗分所	劉碧鵑	謝鴻業
	臺中區農業改良場	廖萬正	林嘉興
	花蓮區農業改良場	劉昭雄	
	臺東區農業改良場	楊正山	
(三)花卉：	臺中區農業改良場	黃勝忠	蔡素蕙

以下列舉番荔枝天然災害損害率客觀指標照片與說明、損害率客觀指標表及番荔枝天然災害防範與復耕復建措施爲例。

(一)番荔枝天然災害損害率客觀指標照片及說明

圖 1. 番荔枝果園植株正常發育情形。

圖 2. 番荔枝果園受到颱風及豪雨為害情形。

(1)作物別：番荔枝

(2)生育期：開花期、果實發育期、採收期

(3)災害別：颱風、豪雨

(4)受害情形：植株倒伏或連根拔起

(5)損害程度：80~100%

(6)拍攝地點：台東市永樂里王仁福農友果園

(7)拍攝日期：83 年 7 月 14 日

(8)提供人：楊正山

(1)作物別：番荔枝
(2)生育期：開花期、果實發育期、採收期
(3)災害別：颱風
(4)受害情形：枝條折損、樹相殘破、落花、落葉，影響著果及果實發育
(5)損害程度：50~80%
(6)拍攝地點：台東市永樂里王仁福農友果園
(7)拍攝日期：83 年 7 月 14 日
(8)提供人：楊正山

圖 3. 番荔枝果園受到颱風為害情形。

(1)作物別：番荔枝
(2)生育期：果實發育期、採收期
(3)災害別：颱風
(4)受害情形：樹相殘破、葉片減少，遮陰不足，果實日燒，影響商品價值。
(5)損害程度：20~50%
(6)拍攝地點：台東市永樂里王仁福農友果園
(7)拍攝日期：83 年 7 月 14 日
(8)提供人：楊正山

圖 4. 番荔枝果實受到颱風為害情形。

(1)作物別：番荔枝
(2)生育期：果實發育期、採收期
(3)災害別：颱風
(4)受害情形：結果枝條斷裂、果實無法採收。
(5)損害程度：80~100%
(6)拍攝地點：台東市永樂里王仁福農友果園
(7)拍攝日期：83 年 7 月 14 日
(8)提供人：楊正山

圖 5. 番荔枝果實受到颱風為害情形。

圖 6. 番荔枝冬期果受到焚風為害情形。

(1)作物別：番荔枝
(2)生育期：開花期
(3)災害別：焚風
(4)受害情形：冬期果結果枝之落花、著果不良、枝條受損造成減產。
(5)損害程度：50~80%
(6)拍攝地點：台東市康樂里李等農友果園
(7)拍攝日期：83 年 8 月 10 日
(8)提供人：楊正山

(二)番荔枝天然災害損害率客觀指標表

災害別：颱風與焚風

損害率(%)	生育期	受害情形 落葉率(%)	枝幹折損率(%)	倒伏率(%)	落花率(%) 夏期果	落花率(%) 冬期果	落果率(%) 夏期果	落果率(%) 冬期果	果實劣化率(%) 夏期果	果實劣化率(%) 冬期果
5~20	植株生長期	5~20	5~20	5~15	—	—	—	—	—	—
	開花著果期	5~20	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~15	5~20	5~15
	果實發育及採收	5~20	5~15	5~15	—	—	5~15	5~15	5~20	5~15
20~50	植株生長期	20~50	20~45	15~35	—	—	—	—	—	—
	開花著果期	20~50	15~35	15~30	15~45	15~40	15~40	15~30	15~45	15~40
	果實發育及採收	20~50	15~35	15~30	—	—	15~40	15~30	15~45	15~40
50~80	植株生長期	50~80	45~60	35~60	—	—	—	—	—	—
	開花著果期	50~80	35~55	30~50	45~70	40~60	40~55	30~50	45~65	40~55
	果實發育及採收	50~80	35~55	30~50	—	—	40~55	30~50	45~65	40~55
80~100	植株生長期	>80	>65	>60	—	—	—	—	—	—
	開花著果期	>80	>55	>60	>70	>60	>55	>50	>65	>55
	果實發育及採收	>80	>55	>60	—	—	>55	>50	>65	>55

註：1.如無上述受害現象發生時，其損害率爲 0~5%。
2.果實劣化係指果實發生擦傷或日燒等現象。

(三)番荔枝天然災害防範及復耕復建措施

1.風害

(1)災害發生之條件、機制及症狀

番荔枝爲臺東縣重要經濟果樹之一，據農業統計年報資料，迄民國九十一年止，全省栽植面積已達 5631 公頃，其中臺東縣就擁有 4550 公頃，佔全省栽植面積之 81%，爲本省番荔枝主要產地。然臺東區位處太平洋低氣壓中心附近，根據百年來之統計，約有 78.7%颱

風路徑經過臺東，故一旦颱風來襲，果樹首當其衝；颱風常挾帶短時間之降雨，造成豪雨，除了土壤流失，甚至毀園外，亦造成果樹之生理障礙等。

風害乃因強風引起番荔枝植株受害，輕者枝條受損，幹莖斷裂，樹相殘破，落花、落果及落葉等。並因此促使再次萌芽或開花，使同化作用減低，樹勢衰弱，著果率低，果實品質差。甚至因風吹植株搖動，引起根系損傷，地上部缺水，同化量減少，呼吸量增大等，使損害加劇。颱風來襲時，果樹因為豪雨使地盤軟弱而特別容易傾斜倒伏，甚至於連根拔起等損失慘重。同時因植株受傷，病原菌侵入，致病害發生及影響植株生育，產量減少，品質低下等。

(2)災前之預防措施

A.注意颱風路徑、範圍、規模等氣象預報，以提早防範。

B.謹慎選擇果園設置地形及方位等，設置防風林或防風籬。

C.慎選番荔枝品種，栽植軟枝種時，由於每年較輕度修剪，致樹型開張，受風面較寬，颱風災害較為嚴重。

D.配合番荔枝管理，每年冬季宜施行較強度修剪，以矮化植株，縮小樹幅，減低風害。颱風來臨前，宜力行疏枝工作，疏減受風面。

E.對於植株樹型主幹、主枝等間分岐角度狹小者，宜及早於冬季修剪時更新、改善或消除，避免分岐點劈裂。

F.園間集排水溝渠，平常應整修維護，清理雜物，以防堵塞，保持水流的暢通。

G.颱風前已達適摘之夏期果果實，宜提早採收，避免落果、裂果及果實軟化。

(3)災後之復育措施

A.番荔枝植株颱風災後倒伏程度與株數，受颱風吹襲之路徑、風向與風力強度及豪雨影響較大，當然土壤質地也是颱風災害致植株倒伏之重要因素。

B.由於風害及豪雨，致倒伏之植株，於根際處順勢培土，以保護根系，避免根部曝露，喪失生機，影響生長。

C.倒伏株勿予勉強扶正，宜地上部立柱固定，並施以適度修剪。倒伏嚴重者，施行強剪，約剪除全株枝條之 1/2 至 1/3 量，以減少水分蒸散及維護樹勢，同時利於果園間管理作業。

D.植株倒伏後，根系受損嚴重，致無法恢復生機時，應更新種植。

E.因強風致植株落葉，枝條折裂嚴重者，由於樹相殘破，掛置植株之果實缺乏葉片之遮陰，易造成果實日燒傷害，應予套袋，套袋材料以牛皮紙袋為宜。

F.折裂之枝條應予剪除，並撿拾斷枝、落果等搬離或集中埋入土中。

G.倒伏株強剪後，可視樹勢恢復情況，適量修剪短截發育之側枝等，以生產冬期果果實。

為恢復樹勢，應酌施用少量尿素或硫酸銨等速效性肥料或行葉面噴施，以維樹勢；且肥培管理時，應儘量避免斷根。又颱風過後應注意病蟲害之發生，儘快進行病蟲害防治。

2.焚風害

(1)災害發生之條件、機制及症狀

氣象學上之焚風，即臺灣俗稱之“火燒風”，在臺東和臺中一帶均有發現。焚風發生的原因，係由於溫溼之空氣受山嶺之阻梗，被迫上升而體積膨脹，水汽凝結成雲雨，再漸冷卻而下降，所以越過山嶺後而下降之空氣遂成乾燥空氣；再因下降後受壓力壓縮而溫度增加，顯著的比鄰近的空氣溫度為高。此種下降氣流所形成之高溫乾燥之熱乾風，特稱焚風。而臺東焚風之發生，為當颱風在臺灣北部通過

時，南部之西風遇上中央山脈之阻擋，被迫上升再下降，故常在台東一帶發生焚風。如颱風通過臺灣南部，北部係東北風越過中央山脈而下降，所以在臺中一帶產生焚風。

焚風現象發生，將造成溫度驟升、不下雨、溼度遽降，又風速增強，對番荔枝植株產生重大爲害，因高溫、無雨、強風等致植株蒸散量增加，樹體缺水、萎凋。同時高溫低溼環境，易使雄蕊之四分體花粉顆粒外被之厚膜受高溫刺激而更緊密地包裹，影響花粉顆粒之發芽，而提高不稔性率。又空氣中溼度低，殘害及縮短花粉活力與壽命，以及柱頭上粘液分泌物之難以維持，致影響授粉期間與能力，使著果率降低，產量減低。且焚風伴隨之強風，造成番荔枝葉片撕裂、落葉，及落花、落果嚴重，除減少產量外，更影響果實外觀商品價值。

(2)災前之防範措施

A.建立番荔枝果園之噴水灌溉設施，以利植株發育。

B.焚風產生時，迅速利用果園間之噴水設施，進行全園噴水(霧)，以提高相對溼度，並降低園間氣溫，以達降溫增溼效果。

C.加強番荔枝植株之整枝修剪作業，使樹冠內通風、日照良好，以維護樹勢，並減低風害。

D.冬期果產期調節之修剪工作，宜分 2~3 次施行，以分散開花期間，除有利延長、分散產期，更可避開與分散天然災害之風險。

E.增加土壤有機質之含量，使根系發育良好，提高保水力與水分吸收能力。

F.設置防風林，阻緩風速，減輕風害，防止新梢折損斷裂或落花、落果等，防風林的密閉度爲 50%，其有效防風距離爲防風林高度的 10 倍左右，最符合經濟效益。

(3)災後復育措施

A.焚風過後，進行土表灌溉，以供應植體蒸散失去之水分，解除萎凋現象。

B.焚風造成植株莖、葉、果實等傷害，宜儘速施行病蟲害防治作業。

C.折損、斷裂之枝條剪除及落果等撿拾搬離果園或埋入土中。

D.於五、六月份進行夏季修剪短截，培養冬期果之結果枝，若於七、八月間遭焚風爲害，致落花嚴重，新梢葉片受損，可行結果枝之返回短截，或視新梢發育情形，於八、九月間施行新梢二次修剪短截，以促使再開花結果，減少損失。

E.受害植株宜行葉面施肥，促使恢復樹勢。

F.焚風之強風致葉片減少，爲保護果實，避免日燒，影響商品價值，果實應套袋。

當災害發生時，現場認定工作是很實際且困難的，有賴現場判釋人員運用智慧，靈活運用所有可參考之資料，綜合研判後作出決定，以期針對不同的個案作最適宜的處理，這樣才能把災害查報及救助工作做得盡善盡美。

以下爲風害造成番荔枝植株倒伏之復育措施:

圖 7. 風吹樹倒。

圖 8. 倒伏株易枯死。

圖 9. 評估倒伏株可否扶正。

圖 10. 倒伏株扶正前灌水以避免二次傷害。

圖 11. 倒伏株扶正過程。

圖 12. 倒伏株扶正試驗，有效嗎？

圖 13. 多數扶正株發育不良翌年幾全枯死。

圖 14. 採取正確的倒伏株復育方法。

圖 15. 倒伏株復育方法－根際覆土以維護生機。

圖 16. 倒伏株復育方法－進行強度修剪。

圖 17. 倒伏株復育方法－強剪+覆土。

圖 18. 倒伏株復育良好情形(一)。

圖 19. 倒伏株復育良好情形(二)。

圖 20. 倒伏株復育良好情形(三)。

圖 21. 倒伏株復育良好情形(四)。

三、結語

本報告係彙整與摘錄「園藝作物天然災害損害率客觀指標」及「果樹天然災害預防及復育手冊」內之相關資料，內容包括蔬菜類之蘿蔔、竹筍、水芋、青蔥、莧菜、小白菜、青梗白菜、芥藍、芥藍苔、甘藍、結球白菜、花椰菜、辣椒、甜椒、番茄、茄子、洋香瓜、西瓜、絲瓜、胡瓜、苦瓜、豇豆、菜豆(敏豆)等 23 種，果樹類梨、桃、李、梅、葡萄、文旦柚、芒果、柑桔、龍眼、番荔枝、網室番木瓜、枇杷、番石榴、楊桃、蓮霧等 15 種，以及花卉類唐菖蒲 1 種等之園藝作物天然災害損害率客觀指標照片與其說明，同時亦列出園藝作物天然災害損害率客觀指標表及園藝作物天然災害防範與復耕復建措施。

四、誌謝

本研究建立「園藝作物天然災害損害率客觀指標」承蒙前臺專省政府農林廳(現爲行政

院農業委員會中部辦公室)85 年公務預算統-09及86公務預算統-10等專題研究之經費補助。另「果樹天然災害預防及復育」手冊，係行政院農業委員會經費補助下，臺中區農業改良場負責編印始克竣事，特以致謝。此外，各農業試驗改良場所研究人員之調查與研究，前農林廳農業經濟科各位長官與同仁之策劃與執行，一併致以由衷謝忱。

五、引用文獻

中央氣象局。1983。颱風百問。p.53。中央氣象局編印，臺北市。

邱禮弘、林國榮、黃武林。1991。臺東地區焚風之形成及其對果樹之影響。台灣農業 27(4):56-67。

果樹天然災害預防及復育手冊。1997。臺中區農業改良場編印，彰化縣。162pp.

徐森雄。1989。農業氣象災害。p.323-329。臺灣地區農業氣象資源應用研討會專集，臺北市。

徐森雄。1997。焚風。p.49-52。果樹天然災害預防及復育手冊。臺中區農業改良場特刊第 39 號，彰化縣。

園藝作物天然災害損害率客觀指標。1997。臺灣省政府農林廳編印，南投縣。p.135.

楊之遠、朱鈞。1985。風對植物之影響。科學農業 33(1、2):51-59。

楊之遠。1997。颱風－臺灣地區主要作物之風害。p.53-56。果樹天然災害預防及復育手冊。臺中區農業改良場特刊第 39 號，彰化縣。

楊正山。1996。臺東地區番荔枝颱風災後復育試驗報告。農委會補助計畫(85 科技 1.4 糧 48)。

楊正山。1997。番荔枝天然災害預防及復育。p.93-98。果樹天然災害預防及復育手冊。臺中區農業改良場特刊第 39 號，彰化縣。

楊正山。1997。番荔枝。p.130-131。園藝作物天然災害損害率客觀指標。臺灣省政府農林廳編印，南投縣。

Objective Indication of Damage Rate in Natural Disasters and Reconversion Measures for Horticultural Crops

Cheng-Shan Yang
Taitung District Agricultural Improvement Station, COA, Taitung, Taiwan, ROC
E-mail: 900@mail.ttdais.gov.tw

ABSTRACT

The survey and relief of natural disasters and reconversion after disasters should be done in the consideration of timing, precision and details simultaneously. Disputes on judgment of damage degree and appraisal are inevitable because of varied responses in different crops and complication of disasters scales. Based on the investigation results, crop growth habits and growth period are basal data for photo comparison that taken after the damage. The damaged rates and real damaged rates are assessed from characteristics and levels of damage, providing disaster precaution and effective measures to assist the Government to evaluate the relief subsidy and corresponding policy for helping farmers to fast recovery their crops. This project covered three motifs, including objective index of disaster photos and its explanation, objective index table on crops damaged rates, and disaster precaution and reconversion measures. At the present, the objective index on natural disaster rate, precaution on natural disaster, and measures on re-ploughing and reconstruction have been established for 23 kinds of vegetables, 15 kinds of fruit trees and 1 kind of flower.

Key words: Horticultural crops, Natural disasters, Damage rate, Indication, Reconversion.

農業氣象災害調查與防護技術
局地之低溫氣象災害調查
49-56, 2003

局地之低溫氣象災害調查

徐森雄*、唐琦
國立屏東科技大學水土保持學系
E-mail：morio@mail.npust.edu.tw

摘要 -- 50

一、前言 -- 50

二、低溫分佈之調查方法-- 50

三、結語 -- 55

四、引用文獻 -- 55

ABSTRACT-- 56

局地之低溫氣象災害調查

徐森雄*、唐琦
國立屏東科技大學水土保持學系教授
E-mail：morio@mail.npust.edu.tw

摘要

臺灣位居亞熱帶與熱帶交會處，每年冬季均受強大陸上極地冷氣團南下之影響，造成氣溫遽降，俗稱寒潮。每當強勁寒潮爆發，在臺灣中、北部平地或海拔稍高地區之農作物或養殖物常造成傷害，影響農村經濟甚大。本文針對局地低溫發生之機制，介紹利用地形圖與航空相片來推測霜害危險度之方法，以及利用儀器進行定點或移動觀測之方法，期能對農地微氣候之形成過程獲得更清楚的瞭解。

關鍵詞：低溫、氣象調查、氣象災害。

一、前言

臺灣地區位於最顯著之東亞季風區內，受西伯利亞極地冷氣團控制，冬季盛行東北季風，此種冷空氣常呈週期性南下，造成溫度之遽降，此即寒潮(Cold wave)，俗稱寒流。不同緯度地區之寒潮定義略有不同，在本省亦未趨一致。蔡(1982)曾以台北之日最低氣溫連續下降，兩天達 4.0℃以上者稱之爲寒潮，而下降 4.0-5.9℃者爲中寒潮，6.0-7.9℃間者爲強寒潮，在 8.0℃以上者稱極強寒潮。然若以對農作物、養殖漁業以及國民日常生活具有較顯著影響爲基礎時，陳(1988)將寒潮定義爲 24 小時內，最高溫下降 8℃以上或最低溫低於 10℃者。據謝及陳(1986)之分析，臺灣地區冬季低溫之出現頻率以一月份最高，地域上以中部地區較易出現，且程度較甚。徐(1983)以南部之屏東爲例，平均每年均出現中寒潮 4 次，強寒潮 2 次，極強寒潮 1 次。雖然出現次數不多，但低溫對臺灣地區之農作物與養殖漁業造成嚴重危害。

在本省出現低溫，除上述強勁寒潮之爆發爲先決條件外，尚有天氣與地形之條件：(1)長夜，天晴無風，以利於地面之長波輻射，氣溫容易降低。(2)低窪或足使冷空氣滯留之地區。至於是否造成霜害或其他之低溫災害，尚視農作物之種類及其生長情形而定。由是之故，低溫之分佈，頗具局地性。本文就局地低溫分佈之小氣候學上的調查方法，加以論述。

二、低溫分佈之調查方法

1.儀器觀測法：
   (1)定點觀測。
   (2)移動觀測。
2.資料調查法：
   (1)分析區域內氣象站資料。
   (2)利用地形圖、航照相片等來推測。
   (3)分析試驗場或其他統計資料。

3.指標調查法：
(1)調查氣象現象或物理現象等。
(2)調查植物分佈、動物分佈或物候(生物季節分佈)。
4.問卷調查法。
5.模型實驗法。

上述之各種方法，當以 1.儀器觀測法最爲準確，但耗錢且費時，難於大面積實施。因此，較經濟且仍有相當可信度之方法，爲 2.之(2)，即利用地形圖、航空照片等來推測。據吉野(1991)引用德國 Uhlig 氏於 1954 年發表之霜危險度小氣候學調查法，推測日本長野縣境內之霜危險度，獲知從利用地形圖、航照照片之判定結果與利用溫度計在現場實測之最低溫度分佈情形頗爲一致。因此，本文之目的在探討應用此一方法來推測，臺灣中部地區霜危險度或冷空氣滯留情況之可行性，期能提供今後農業氣象災害預報或謀求其對策之參考。

(一)霜危險度之推測方法

先於五千分之一航照圖上描出調查區域，爾後每隔 1 cm 繪製方格，即實際間隔距離爲 50 cm，各方格點依下述條件(詳見附表 1)予以判識評分。

A.地形性狀。
B.該地點之微地形。
C.該地點之相對高度。
D.該地點之周圍之地表狀態。

A 項之地形性狀，指範圍較大之一般狀態，如平原、丘陵、山地、高地等。B 項爲微地形，屬 A 項中之 A_a-A_b 地形者，於此再度評與同一點數，亦即強調地形差異。而 A_e 性狀者於 B 項中重新評分。C 項爲相對高度，在五千分之一航照圖上，等高線之間距爲 5m 精度上大致可符合 Uhlig 之點數分配要求。D 項爲該地點周圍之地表狀態，此項係針對地表被覆所顯示夜間冷卻狀態，或冷空氣流動受阻情況之差異而評分。

綜合上述四項之點數，而將霜之危險度分級。惟本省所處之緯度較低，霜之發生頻度遠較中高緯度地區爲少，因此本文之霜危險度等級區分與 Uhlig 及吉野之標準不同，將其修正後列如表。

表 1. 霜危險度等級。

危險度等級	0	I	II	III
點數	＜10	11-15	16-20	＞21

(二)霜危險度推測

於南投縣魚池鄉共和村、中寮鄉廣興村及嘉義縣梅山鄉雙溪村各選樣區一處，因於區域內均設有農業氣象觀測站。樣區之大小於五千分之一航照圖上爲 20 cm × 25 cm，實際面積爲 1.25 km^2，方格點總數爲 546 點，圖 1 至圖 3 爲南投縣魚池鄉共和村，中寮鄉廣興村及嘉義縣梅山鄉雙溪村三樣區之地形及經評分後危險度推測值之分佈情形。

圖 1 之魚池樣區海拔在 500-700 m 之間，其中 630 m 左右之台地爲農委會臺中區農業改良場之分場。由於其四周密植杉木林，冷空氣不易外流，而東西兩側之山谷，容易成爲冷空氣之通道俗稱霜道(Frost way)，因此霜危險度均高於III級。該地之冬季最低氣溫記錄爲 -1.2℃，而＜5℃者每年約 10 天。在本省寒潮爆發後，於晴朗無風夜晚，地面長波輻射旺盛，溫度逆增現象顯著，因此 1.5 m 高度百葉箱內最低氣溫雖在 3-5℃，地表附近之作物其體溫極可能已低至 0℃以下，足以造成霜害。

圖 2 之中寮樣區爲海拔在 260-370 m 之山地，坡度不大，多已闢爲梯田，作物以香蕉爲主。圖中霜危險度達III級地區多爲山谷，僅少

部份為海拔較低之梯田。位處II級危險區之農業氣象觀測站，冬季最低氣溫記錄為 5.3℃，<10℃者每年約 20 天。因此，於III級危險度地區，仍可能出現霜害。

圖 3 之梅山樣區為海拔在 100-200 m 之山地，霜危險度達III級地區，多為坡度甚緩，且較低窪之果樹園。該地冬季最低氣溫記錄為 3.6℃，<5℃天數每年約 1-2 天，5.1-10℃天數每年則約 18 天，因此低窪地區仍易遭受霜害。而相關霜危險度評分之點數表則詳見附錄。

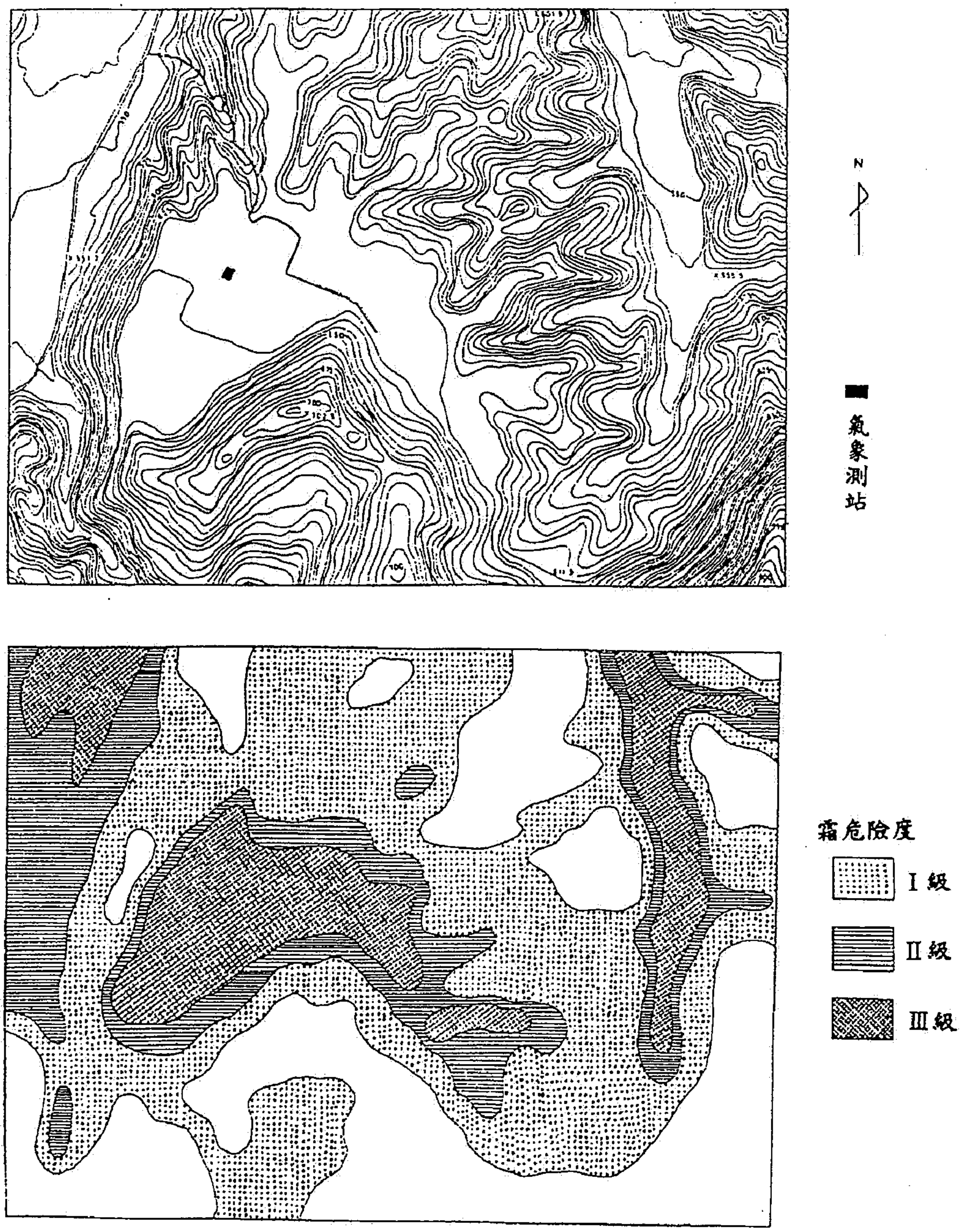


圖 1. 南投縣魚池鄉共和村樣區之地形及霜危險度推測值之分佈情形。

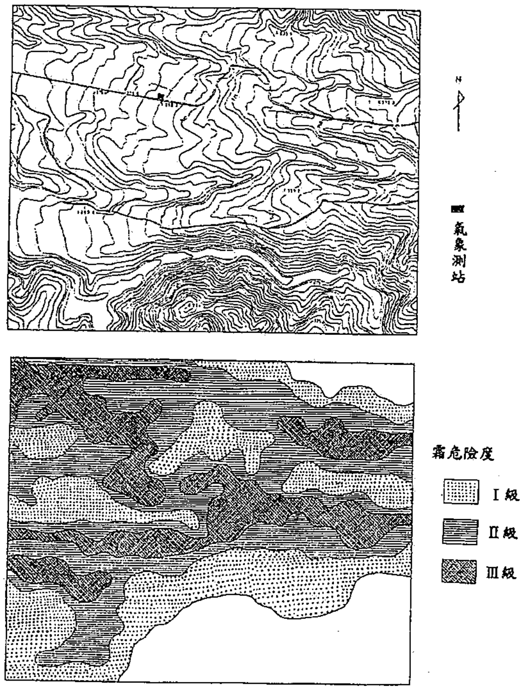


圖 2. 南投縣中寮鄉廣興村樣區之地形及霜危險度推測值之分佈情形。

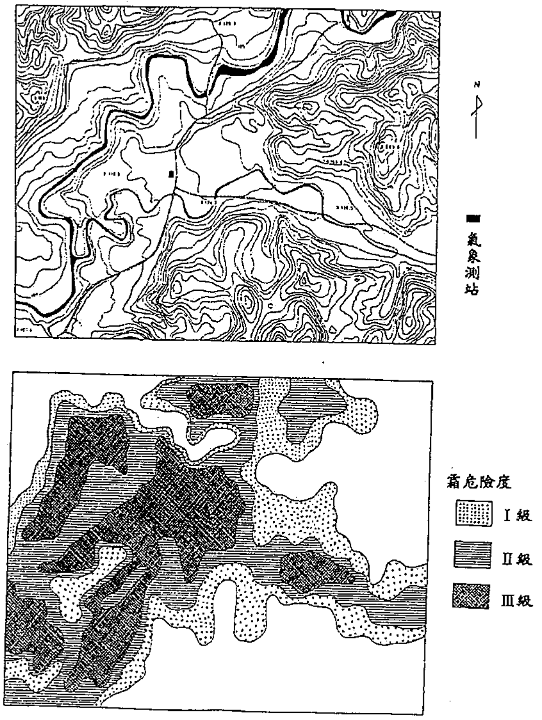


圖 3. 嘉義縣梅山鄉雙溪村樣區之地形及霜危險度推測值之分佈情形。

(三)冬季檬果園微氣候調查案例

於玉井鄉層林村內選取一盆地地形之檬果園，其坡向自西南至東北，高低差約 30 m，測點及儀器之配置如圖 4 及表 2。

除現場之氣象觀測外，並蒐集玉井地區氣象測站之記錄予以分析低溫、高濕、少日照之出現情形，玉井地區之最低氣溫再現期則如圖 5。若再以調查結實之掛牌日期為基準，向前推 10 天(花蕾形成期)與向後延 30 天(開花及幼果期)，利用玉井之氣象資料來計算各花期在此 40 天內之積溫(Accumulated temperature)及日照時數(Sunshine duration)，所得結果與平均每穗果粒之關係如表 3 及圖 6 所示。

由上圖表所示，積溫在 750℃左右者結果最佳，接近 700℃或超過 800℃時結果較差。日照時數則以 270 小時最佳，日照越少結果越差。1978 年 2 月 15 日調查之花期，其積溫與日照時數雖尚適合，但因開花後 10 天內遭遇 5℃之低溫，且同一花期內雨量多達 60.3 mm.，以致其結果粒數最低。其他花期在開花後之 10 天內雖亦遭遇 7.4-10.6℃之低溫，但結果粒數似未受顯著之影響。

表 2. 儀器之配置。

測點	儀器種類
1	乾濕球溫度表，最高最低溫度表，地溫表，風速自記計，熱電偶乾濕球及記錄器地溫自記計〈1 針〉，氣溫自記計。
2 | 5	乾濕球溫度表
6	乾濕球溫度表，最高最低溫度表，地溫表。
7	同上
8	乾濕球溫度表，最高最低溫度表，地溫表，風速自記計
9	乾濕球溫度表，最高最低溫度表，地溫表。

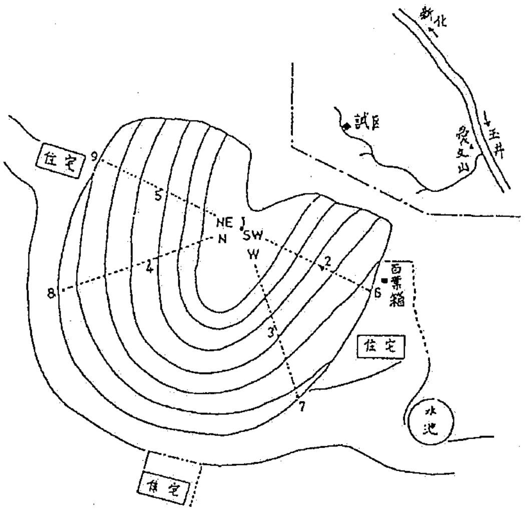


圖 4. 試區概略位置及檢測配置。

表 3. 不同花期之氣象條件與結果之關係。

花　　項	1978	1978	1978	1979	1979	1979	1979
期	1	1	2	1	1	1	1
目	16	29	15	10	24	8	25
積溫〈℃〉*	717.9	701.8	791.9	762.6	750.8	810.3	869.2
日照時數〈hr.〉*	253.9	234.2	214.0	258.9	270.0	214.1	183.5
降雨量〈mm.〉*	12.4	31.9	60.3	14.7	34.6	41.8	40.5
開花後 10 日內最低氣溫〈℃〉	7.6	9.8	5.0	10.6	7.4	10.0	10.4
平均每穗果粒	1.86	1.52	0.66	1.93	2.41	1.76	1.11

*以掛牌日之前 10 天至後 30 天為基準。

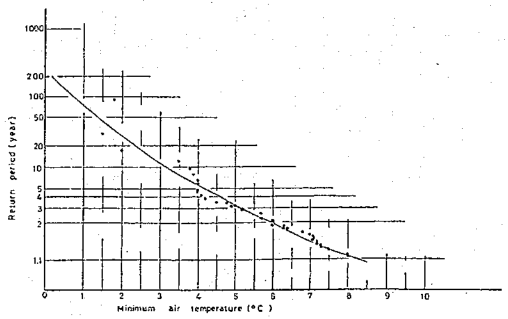


圖 5. 玉井地區最低氣溫之再現期。

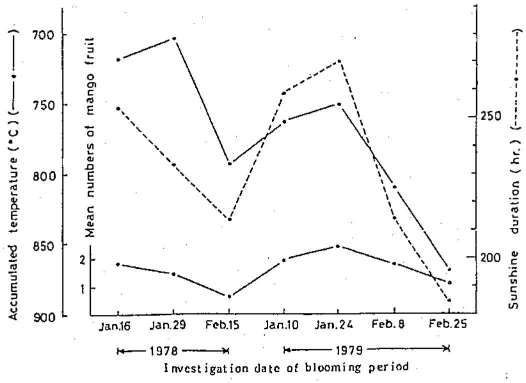


圖 6. 不同開花期之平均芒果數與氣象條件之關係。

三、結語

以上所述局地氣候之調查方法，隨所能掌握之人力、物力(儀器設備之精密度)，試區之大小，調查之目的等而有很大之彈性。此外，對試區鄰近氣象資料之蒐集、統計、分析，以及調查期間對綜觀氣象變化之掌握(從網路上亦可得到相當重要資訊)等等，亦爲提升調查計畫執行成果的重要手段。

四、引用文獻

吉野正敏。1991。新版小氣候(日文)。地人書館，日本。217pp.

坪井八十二。1974。農業氣象手冊(日文)。養賢堂，日本。854pp.

徐森雄。1978。玉井地區山坡地冬季之微氣候(第一報)。中華水土保持學報 9(1)：151-160。

徐森雄。1979。玉井地區山坡地冬季之微氣候(第二報)。中華水土保持學報 10(1)：171-179。

徐森雄。1983。屛東地區之寒潮。屛東農專水土保持學報 7:21-29。

徐森雄、黃國禎。1984。臺灣中部地區霜危險度調查 1.冬季最低氣溫之地理分佈特性。中華水土保持學報 15(1,2):39-50。

徐森雄、黃國禎。1984。臺灣中部地區霜危險度調查 2.從小氣候觀點來推測霜之危險度。p.1-12。國科會防災科技報告 73-02，臺北市。

徐森雄。1994。農業氣象實驗方法。中華農業氣象學會，臺中縣。102pp.

徐森雄 等。1995。嘉和遮體對其東側芒果園微氣候之影響。中華農業氣象 2(4)：169-177。

徐森雄。1998。恆春落山風之分佈特性調查。屛東技術學院學報 7(3)：225-232。

陳正改。1988。臺灣的災變天氣。中央氣象局通訊副刊。

蔡清彥。1982。臺灣地區之寒潮爆發。p.153-164。第三次全國大氣科學學術研討會論文彙編，臺北市。

謝信良、陳正改。1986。臺灣地區氣象災害之調查研究(II)。p.3。行政院國科會防災科技報告 75-4 號 107，臺北市。

Investigation of Low Temperature Disaster in Local Area

Sen-Hsiung Hsu* and Chi Tang
Department of Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan, ROC
Email: morio@mail.npust.edu.tw

ABSTRACT

Taiwan is located in the border between tropical and subtropical regions. Generally cold air moves southward from the Arctic Zone to bring down the air temperature in the winter season every year. Frequently such cold air movement, which induces a rapid temperature drop and is called cold wave, may cause serious damages to crops and aquiculture in the central and northern plains as well as in the highlands. Sometimes the outbreak of cold wave may bring about agricultural disaster and tremendous economic loss. This study focused on the mechanism of low temperature occurred in the local regions. Methods to predict the level of frost damage from topographical and aerial photography and instrumental measurements It is hoped that results from this study may provide further information to the understanding of microclimate of farm land.

Key words; Low temperature, Meteorological investigation, Meteorological disaster.

農業氣象災害調查與防護技術
水稻旱害遙感探測技術
57-64, 2003

水稻旱害遙感探測技術

申雍*、章國威
國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要 ---------- 58

一、前言 ---------- 58

二、地真資料收集 ---------- 59

三、乾旱等級劃分 ---------- 60

四、遙測影像分析 ---------- 61

五、結語 ---------- 62

六、引用文獻 ---------- 62

ABSTRACT ---------- 64

水稻旱害遙感探測技術

申雍*、章國威
國立中興大學土壤環境科學系
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要

農業用水約佔臺灣地區水資源的 75%，當降雨減少稻作生產易遭受旱害。如果可以利用遙測影像判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作，都將可以提高工作的效率和準確度。分析累積的少數地面資料指出，植被指數 NDVI≥0.7，SRVI≥5.5 可作爲鑑別水稻是否遭受旱害之判定標準，且 NDVI 和 SRVI 的數值亦可作爲區分旱害等級的依據。此外，應用遙測技術也可預估生育前期乾旱對水稻產量之影響。惟目前國內仍缺乏系統性的研究規劃，作爲確認水稻旱害分類的依據，因此還無法將遙測技術落實於實際的旱害調查作業中。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、乾旱逆境、特徵光譜、產量推估、遙測模式。

一、前言

水稻較其他作物有旺盛的土壤水分萃取率，因此易受到缺水影響，缺水所造成的問題則視缺水時期的長短，以及當時作物生育階段而異。抽穗前缺水可能干擾稻穗抽出（Cruz and O'Toole, 1984；O'Toole and Namuco, 1983），開花時期缺水將抑制受粉而提高小穗不稔率（Cruz and O'Toole, 1984），並可能減少有效積儲容量，導致穀粒產量及收穫指數下降。Ekanayake *et al.*（1990）還發現低水分潛勢不僅減弱花粉活力與脫落能力，並降低花粉囊開裂程度，阻滯受粉而提高了小穗花不稔率。缺水若發生於穀粒充實期，雖不改變穀粒充實期的長短，卻會影響穀粒充實率及千粒重（Rahman and Yoshida, 1985），並加速葉片老化（Spiertz, 1977）。分蘗期與幼穗分化期是乾旱對水稻生育影響最大的兩個時期，楊和張（1991）認爲抽穗前 20 天至抽穗後 10 天內對缺水反應最爲敏感。

就作物葉片的反射光譜而言，波長介於 400~700 nm 之可見光（visible），爲植物行光合作用時之能源，多被植物葉綠體吸收，故此段波長之反射量極低。波長介於 700~1300 nm 之近紅外光（near-infrared），由於受葉片柵狀組織之反射，在此波段呈現一強反射帶。波長介於 1300~3000 nm 之中紅外光（middle-infrared），主要被葉片中所含之水分吸收，反射率亦低（Guyot, 1990）。當植物遭遇逆境時，葉片的反射光譜便受影響而改變，因此可以經由反射光譜的測定，以判定作物承受逆境的程度。

Richardson 及 Everitt(1987)以紅光及遠紅

光反射光譜偵測野牛草(buffalo grass)之水分逆境，結果比肉眼觀察提早 24 日得知。Inoue *et al.* (1993)發現玉米等 4 種作物之相對含水量與中紅外線(1430，1650nm)之反射率呈正相關。Gausman and Quisenberry（1990）指出葉片衰老會降低近紅外光（0.7～1.3 μm）之反射率。Kanemasu *et al.*（1974）及 Shultis and Myneni（1988）均指出，由近紅外光段（IR）與紅光段（R）灰度值所得之簡單植被比（Simple-Ratio Vegetation Index, SRVI = IR/R）與作物之葉面積有關。Hatfied *et al.*（1984）及 Lapitan（1986）指出，標準差植被指數（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI＝(IR-R)/(IR+R)）可反映可見光被作物利用之比率，Mojarro（1988）則指出 NDVI 可反映作物之乾物質產量。Yang and Su(2000)指出在 2113.5nm 的反射值最能代表水稻乾旱逆境的等級。申及李(1998)及 Yang and Su(2000)均指出利用 NDVI 可以區別水稻乾旱逆境的等級。

目前農業生產約使用了臺灣地區 75%的水資源，主要用於稻作的生產。近年來由於民生和工業用水的需求快速增加，因此農業用水經常被要求釋出供民生和工業使用。由於地形和季風的影響，臺灣西南部地區主要依靠水庫存蓄梅雨和颱風所帶來之降水，若梅雨和颱風的雨量少，將導致乾旱發生。在氣溫逐漸暖化的氣候變遷環境下，水田的蒸發散損失將更爲提高，使得原已不足的農業用水更加短缺。如果可以利用遙測影像判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作，將可以提高工作的效率和準確度。

以下將說明如何利用遙測影像判別水稻遭受旱害影響之面積和程度的技術，包括收集乾旱環境下植被反射光譜與產量等地真資料，研發偵測稻作乾旱逆境的光譜特徵參數，建立檢測稻作乾旱程度的遙測模式，以及應用遙測影像的分析結果。

二、地真資料收集

遙測技術主要利用植被的反射光譜間接推測作物的生育性狀。因此，若欲利用遙測技術瞭解乾旱對水稻爲害之程度與影響範圍，必須先獲得水稻在不同乾旱狀態下的植被反射光譜地眞資訊，才能繼續進行後續的鑑別與分類工作。

於已知的乾旱受災地區選擇適當樣區，或在田間以人爲斷水的方式造成乾旱逆境，利用可攜式光譜儀測定水稻植被的反射光譜，是兩種常見之收集地眞資訊的方法。在天然乾旱受災地區中，由於區域較廣，常因是否處於供水管線末端，或是否自行鑿井灌溉等因素之影響，可產生不同等級之乾旱逆境，且容易獲得較多的樣區可供作爲地眞調查的樣本區。惟天然乾旱之發生具有不可預期性，當旱害發生時，必需能即時掌握災害之情報訊息，並立即協調進行相關調查的項目、方式與時間，方能獲得所需的資料。於田間利用人爲斷水方式處理，則較易有系統的獲得所需的地眞資訊，然而於進行田間斷水處理之試驗時，必須配備有可移動的大型自動遮雨棚設備，才能避免因天然降雨所產生的干擾。理論上，於溫網室內利用大型盆栽也可進行類似田間斷水處理之試驗，然而由於設施遮陰和微氣象環境改變，會導致水稻生育情形和植被反射光譜不同於田間之狀況。地眞光譜收集時，也必須同時配合收集有關水稻生育性狀和產量的調查資料，才能將植被的反射光譜資訊轉化成所需的物理量，以供利用遙測影像進行乾旱等級區分、產量受損情形預估等相關調查工作應用。

申及李(1998)提供於民國 82 年中部地區發生嚴重乾旱時，在不同乾旱等級樣本區所量

測的水稻植被反射光譜。當水稻受到旱害時，因水分供應受到限制，葉肉細胞的膨壓下降，葉片發生捲曲，並促使水稻葉片老化，葉綠素含量減少，葉片呈現黃色。因而近紅外光段之反射率會降低，而可見光中紅光段的反射率則提高，且受災程度越大，此光譜改變現象越顯著。在嚴重乾旱之水稻田，其反射光譜則不僅爲水稻枯黃之因素，尚且包含因稻株乾死而裸露之乾涸土壤之反射。

三、乾旱等級劃分

通常根據水稻生長表現情形，分成未受害（減產＜20%）、輕微（減產 20~50%）、中度（減產 50~80%）及嚴重受害（減產＞80%）四種不同程度之情況，爲進行受災補助工作。由於當水稻處於乾旱逆境時，葉片因缺水而致葉片皺縮，葉面積指數下降，使得 SRVI 隨旱害嚴重程度增加而降低。而當水稻遭受逆境時，光合作用也將受到抑制（Steven *et. al.*, 1990），因而 NDVI 也因水稻受害程度增強而下降。申及李(1998)曾利用民國 82 年所發生之乾旱，於四種受災等級稻田中實測之反射光譜資料，訂出鑑別受災等級的 SRVI 與 NDVI 分類級距。

爲確認申及李(1998)所定分類級距的適用性，民國 90 年曾在嘉義進行之人工斷水乾旱處理試驗。在一期作期間由於降雨頻繁，於分蘖期開始斷水之處理的產量爲對照組之 97%，於幼穗分化期開始斷水之處理產量爲對照組之 98%；二期作期間於分蘖期開始斷水之處理產量爲對照組之 88%，於幼穗分化期開始斷水之處理產量爲對照組之 93%(圖 1)。兩期作各乾旱處理減產幅度都在 20%以內，若進行受災等級調查，仍會被歸屬於未受害的等級。由地面反射光譜計算出之植被指數 SRVI 和 NDVI 的動態變化示於表 1，表中數據顯示，除於水稻生育後期，因植被指數 SRVI 和 NDVI 原本即會快速下降外(楊及蘇，1997)，其餘各時期 SRVI 和 NDVI 之值均落於申及李(1998)對未受害水稻所提出的鑑別值域內，成爲支持其提出之鑑別值域的另一證據。楊(2001，私人通訊)在霧峰農試所進行的人工斷水試驗，其 NDVI 植被指數與相對應之產量示於表 2，由表中數據亦可得知 NDVI≥0.7 約可作爲未受害(產量減少≤20%)的標準，而申及李(1998)以 0.7＞NDVI≥0.6 作爲輕度受害(產量減少 20%~50%)的判定標準也仍成立。

表 1a. 嘉義試區二期作不同旱害處理之植被指數 SRVI 的動態變化。

DAT	旱害處理：未斷水	分蘗期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
33	14.8	14.0	13.2
39	16.6	13.1	14.9
46	15.1	13.8	13.1
57	15.7	14.3	13.8
70	13.5	12.2	12.6
85	6.5	5.6	6.6

表 1b. 嘉義試區二期作不同旱害處理之植被指數 NDVI 的動態變化。

DAT	旱害處理：未斷水	分蘗期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
33	0.87	0.87	0.86
39	0.89	0.86	0.87
46	0.88	0.87	0.86
57	0.88	0.87	0.86
70	0.86	0.85	0.85
85	0.73	0.70	0.74

水稻植被反射光譜經一次微分處理後，顯示兩處可以作爲判釋旱害等級的區間，分別位於近紅外光段與綠光段(圖 2)，遭受乾旱逆境越嚴重之水稻，其一次微分值越低。近紅外光段一次微分值的差別雖大，但植被反射光譜具

有紅端位移(red edge shift)的現象也很明顯，因此除非有多張適當波段的高光譜影像可供應用，否則並不適合利用近紅外光區的微分值進行水稻乾旱等級的鑑別。在綠光段 525 nm 處的一次微分值($dR/d\lambda|_{525}$)與遭受乾旱的程度也呈現相關關係，且沒有光譜位移的問題，因此較適合作為鑑別用之特徵光譜，惟仍需累積更多的地真光譜與產量的調查數據，才能發展出必要的乾旱等級判釋遙測模式。

依據民國 90 年於嘉義乾旱處理試區在抽穗期間實測之植被反射光譜，計算其 NIR/R 和 NIR/G 波段比值後，再代入申等(2001)所提出的產量預估模式，以預估收穫時的可能產量，並與收穫時的實際產量比較(表 3)，可知不論一、二期作，對照處理和分蘗期開始斷水之處理的預估產量與實際產量間的誤差均小於 10%。二期作幼穗分化期才斷水之處理，由於測定時的反射光譜還未受到斷水處理之影響，因此產量才會高估約 26%。以上結果則顯示，申等(2001)所提出的產量推估模式，也可用於推估生育前期乾旱對水稻產量之影響。

表 2. 霧峰試區二期作不同時期旱害處理植被指數 NDVI 與產量之關係。

試區	營養生長期斷水			生殖生長期斷水		
	NDVI	產量($T\ ha^{-1}$)	相對產量(%)	NDVI	產量($T\ ha^{-1}$)	相對產量(%)
對照區	0.69	6.29	100	0.73	6.74	100
處理區	0.71	5.39	86	0.66	4.50	67

表 3a. 利用產量推估模式推估嘉義試區旱害處理之產量與實測產量之比較(一期作)。

項目	旱害處理		
	未斷水	分蘗期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
實際產量($T\ ha^{-1}$)	4.74	4.60	4.65
推估產量($T\ ha^{-1}$)	4.33	4.54	NA#
誤差(%)	-8.61	-1.33	NA

#：受天氣影響未能完成反射光譜測定。

表 3b. 利用產量推估模式推估嘉義試區旱害處理之產量與實測產量之比較(二期作)。

項目	旱害處理		
	未斷水	分蘗期開始斷水	幼穗分化期開始斷水
實際產量($T\ ha^{-1}$)	4.63	4.08	4.30
推估產量($T\ ha^{-1}$)	4.32	4.03	5.43
誤差(%)	-6.65	-1.26	26.45

四、遙測影像分析

應用遙測技術進行災害調查，具有全面、快速、客觀等優點。以民國 82 年中部地區大甲、梧棲、清水等地水稻發生之嚴重乾旱為例，為進行受災補助工作，係先由農民申報各水稻坵塊的受損情形，再由當地鄉鎮公所人

員，會同地區農業改良場的調查人員進行現地查核，在約莫半個月的時間內完成。由於時間非常緊迫，現地調查必然存在許多疏漏與不周全之處，且未留存客觀的證據，以備事後爭議發生時作爲裁決的依據。

申及李(1998)曾就民國 82 年中部地區乾旱事件，探討利用衛星遙測影像分析受災程度的可行性。該研究指出，利用衛星影像製作的受災等級分佈圖，可表現出土壤水分供應能力的空間變異特性，遠較依據坵塊地籍資料配合現地勘災資料所建立的受災水稻分佈圖，更能反應實際的受災分佈情形。此外，衛星影像分類也較目視方式敏感且客觀，分類級距也可應實際需要彈性調整。可是受所用 SPOT 衛星空間解析度的限制，還不能判定個別坵塊的受災情形。若當時衛星影像之空間解析度能再提高，例如使用即將發射之華衛二號的衛星影像，則利用衛星影像並配合地籍資料電子圖檔，依每一地號區分其內水稻受乾旱影響之受災等級與面積，以計算該地號範圍內的平均受災程度將是有可能的。

五、結語

近年來，台灣地區乾旱發生頻率有增加現象。以上討論則顯示，應用遙測技術應可快速且客觀的判別遭受旱害影響之水稻面積和受影響的程度，對於水資源的調配、稻作生產預估、以及農民災害補助等工作都將有所幫助。

惟目前則因缺少必要之遮雨棚設施，不易於田間以人爲斷水的方式，系統性的累積必要的地真基本資料。依據以往累積的少數地真資料，所建立的水稻旱害等級分類標準，應該仍有很大的改進空間。

六、引用文獻

申雍、李佩玲。1998。應用 SPOT 衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍支出步研究。中華農業氣象 5:203-208.

申雍、章國威、李裕娟、楊純明、羅正宗。2001。應用遙測技術推估水稻產量之初探。p.39-50。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義，主編。行政院農委會農業試驗所，臺中縣。

楊純明、張富洲。1991。水稻逆境之探討。科學農業 39：219-224。

Cruz, R. T. and J. C. O'Toole. 1984. Dryland rice response to an irrigation gradient at flowering stage. Agron. J. 76: 178-183.

Ekanayake, I. J., P. L. Steponkus and S. K. De Datta. 1990. Sensitivity of pollination to water deficits at antithesis in upland rice. Crop Sci. 30: 310-315.

Gusman, H. W. and J.E. Quisenberry. 1990. Spectrophotometric detection of plant leaf stress. p. 257-276. *In*: Environmental Injury to Plants. F. Katterman (ed.). Academic Press, New York.

Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. p.19-43. *In:* Applications of Remote Sensing in Agriculture. Steven, M.D. and J.A. Clark, eds. Butterworths, London.

Hatfield, J. L., G. Asrar and E. T. Kanemasu. 1984. Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance. Remote Sens. Environ. 14:65-75.

Inoue, Y., S. Morinaga and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance measurements. Jpn. J. Crop Sci. 62: 462-469.

Kanemasu, E. T., C. L. Niblett, H. Manges, D. Lenhert and M. A. Newman. 1974. Wheat: Its growth and disease severity as deduced from ERTS-1. Remote Sens. Environ. 3: 299-260.

O'Toole, J. C. and O. S. Namuco. 1983. Role of panicle exertion in water stress induced sterility. Crop Sci. 22: 44-50.

Lapitan, R. 1986. Spectral estimates of absorbed light and leaf area index: Effects of canopy geometry and water stress. Ph. D. Dissertation, Dep. of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, Kansas.

Rahman, M. S. and S. Yoshida. 1985. Effect of water stress on grain filling in rice. Soil Sci. Plant Nutr. 31: 497-511.

Richardson, A.J. and J.H. Everitt. 1987. Monitoring water stress in buffalograss using hand-held radiometers. Int. J. Remote Sensing 8: 1797-1806.

Spiertz, J. H. 1977. The influence of temperature and light intensity on grain growth in relation to the carbohydrate and nitrogen economy of the wheat plant. Neth. J. Agric. Sci. 25: 182-197.

Shultis, J. K. and R. B. Myneni. 1988. Radiative transfer in vegetation canopies with anisotropic scattering. J. Quant. Spec. Rad. Trans. 39: 115-129.

Steven, M.D., T.J. Malthus, T.H. Demetriades-Shah, F.M. Danson and J.A. Clark. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. p.209-227. *In:* Applications of Remote Sensing in Agriculture. Steven, M.D. and J.A. Clark, eds. Butterworths, London.

Yang. C.-M and M.-R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. p.13-18. *In*: Proceedings of the 21th Asian Conference on Remote Sensing. vol.1. 4-8 December, 2000, Taipei.

Classification of Extent and Degree of Drought Stressed Rice by Remote Sensing techniques

Yuan Shen* and Kuo-Wei Chang
Department of Soil and Environmental Sciences, National. Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan ROC
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Agricultural production used 75% of annual water resources in Taiwan. At drought year, rice cultivation was severely affected. If remote sensing techniques are used to identify drought extent and degree of affected rice fields, the efficiency and accuracy of water management, rice production estimation, and damage compensation can be improved. From the preliminary ground truth data collected, we suggested that vegetation indices NDVI≥0.7 and SRVI≥5.5 can be served as the criteria for drought damage in rice. Drought level could be further classified according to the value of NDVI and SRVI. Besides, rice yield as affected by drought at early growth stage could also be estimated through remote sensing techniques. However, systematic experiments to confirm the drought classification scheme were still lacking. Therefore, remote sensing techniques are still not implemented in the field survey in Taiwan.

Key words: Rice(*Oryza sativa* L.), Drought, Characteristic spectrum, Yield estimation, Remote sensing model.

農業氣象災害調查與防護技術
機載多譜影像系統偵測作物淹水災害之研究
65-78, 2003

機載多譜影像系統偵測作物淹水災害之研究

劉治中*、廖子毅、陳大科
工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室
E-mail: Cclau@itri.org.tw

摘要 ---------- 66

一、前言 ---------- 66

二、作物受淹水損害光譜反應之研究 ---------- 67

三、機載攝像系統測試---------- 73

四、結語 ---------- 76

五、誌謝 ---------- 76

六、引用文獻 ---------- 77

ABSTRACT---------- 78

機載多譜影像系統偵測作物淹水災害之研究

劉治中*、廖子毅、陳大科
工業技術研究院能源與資源研究所遙測與資訊研究室
E-mail: Cclau@itri.org.tw

摘要

本研究目的在測試直昇機機載多光譜影像系統獲取農業災害資訊的可行性，測試項目包括分兩大類，包括基本的農作物因水災淹沒受損的光譜反應、及機載影像系統的整合運作測試。作物淹水傷害試驗方面，本研究對小白菜、莧菜、及西瓜實施 3 至 12 小時定時淹水，及對小白菜實施長期(48 小時)淹水後，利用高光譜輻射儀及多光譜成像儀施測，發現作物受淹水災害在一定時間內(如 1~2 天)，若暴雨停止及排水得宜，作物仍可依賴其自行調適機制回復正常生長狀態，但長至 48 小時的淹水，將對作物產生不可回逆轉的傷害，凋萎開始後，再行排水亦無法恢復正常，反應在光譜上則爲 NDVI 值的急速下降。在攝像系統方面，本計畫採用輕型直昇機以爲機載系統載具，直昇機雖不如定翼機可獲取高精度航照或以掃描儀攝像，但藉由低設備維護與迅速動員就位的優點，可作爲輔助資料的要求。直昇機載系統的研究工作包括儀器測試、設備掛載、系統整合、觀測作業、影像處理分析等。

關鍵詞：作物淹水災害、多光譜影像、直昇機載攝像系統。

一、前言

與其它產業比較，農業生產具有相對較高的天然災害風險，針對災害帶來的損失，農委會已訂定農業天然災害查報及救助制度，如「臺灣省農情調查工作評鑑要點」、「農業天然災害救助辦法」及「農業天然災害嚴重程度認定標準」等，做爲辦理農業災情查報工作之依據。並使災害發生時能立即動員相關的人力與物力，以有效率地應變處理，安定農業經營環境。

天然災害範圍廣泛，包括各種颱風、焚風、豪雨、冰雹、寒流、地震、海嘯、山崩、乾旱、病害、蟲害等，以及其他造成農、林、漁、牧業損失之天然災害。臺灣地區的農業災害以風災(尤其颱風)及水災爲主，前臺灣省政府農林廳爲對農作物天然災害損害率有其客觀評估指標，已出版「園藝作物天然災害損害率客觀指標」，對小白菜、青梗白菜、芥藍、萵苣等葉菜類在颱風及豪雨時的損害率，視作物受損時的生育期與受害情形（植株矮化、葉部枯黃或腐爛率、植株死亡率、減產率）而定。例如，茄果類的損害率或受害情形，視植株死亡率、幹折損率、棚架傾或倒塌率、植株死亡率、落花或落果率、果實劣化率及減產率等因素而定。農作物損失的估算方式，短期作物於遭受災害後，在當期作尚能復耕或轉作且可以收穫者，其損失金額以生產總費用之百分之五十計算。如在當期作無法復耕或轉作者，每公頃損失金額以生產總費用扣除採收工資計算，並乘以損失金額。長期作物方面，受災時

並無收穫物者，其損失金額以成園費計算。受災時有收穫物或當年可收穫者，每公頃損失金額以生產總費用扣除採收工資計算，並乘以損失面積計算損失金額。

依現行農業災害查報程序，天然災害發生後的相關農業損失，各級農情報告員應迅速蒐集農田、農作的受災資料，並編造農田及農作物災害報告，依限陳報農委會中部辦公室。漁業部分，各級查報員應迅速將漁船、漁港、魚塭等受災情況，編造災害報告表依限轉報漁業署。其中報告可分爲速報及詳報兩部份，並分別於二日及四日內完成。且規定查報人員僅僅查報已發生災害之事實，對於未來可能發生的損失不做假設性之判斷或預估，以避免非必要之爭議。另不得因農民爭吵抗爭，或因其它政治因素而影響查報結果，更不可爲爭取救助而浮報災情，避免辦理救助而隱瞞災情事實。由於各級查報員現場查核及表報工作極爲繁瑣，在極端壓縮工作時程下，速成的災害回報精確度，往往成爲事後爭議所在。以瑞伯颱風爲例，申報補助金額達十億元，經實際調查後獲得救助金額只有六億八千萬元，有近三成金額屬於溢報。

鑑於每次天然災害衍生的龐大災害救助金額，但查報工作要求時間緊迫，應用遙測技術協助估算或驗証災害損失，將可減低上述溢報爭議，進而節省政府開支。本研究主要針對水災引起的作物損失，利用直昇機載近紅外光成像儀系統及地面光譜儀，研究以直昇機載影像系統獲取農業災害資訊之可行性，研究重點有二：

1.作物受損後光譜反應：傳統上作物受損率之是以人工目測鑑定爲主，成像儀影像可以提供作物之光譜反應值，爲較詳盡瞭解作物遭受水災侵害時的損失，本研究將量測園藝類作物在不同生育期時，不同淹水情形下的光譜反應，作爲以後遙測判釋的知識基礎。

2.系統組成及系統測試：以直昇機爲載具可以機動及快速攝像以獲取災害資訊，但系統諸元之特性及整合均有待測試，例如直昇機在飛航時穩定性、成像儀之成像特性及影像校正等需作深入瞭解以供實作時之參考。

二、作物受淹水損害光譜反應之研究

(一)作物淹水後生理反應

作物受到淹水後的反應，主要是由根系缺氧而引起連串生理改變，根部缺氧時，根部的氨基碳酸(Aminocyclopropane Caboxylic Acid, ACC)無法轉化成乙烯(ethylene)，但經由蒸散作用移至葉芽的 ACC 會加強莖、葉的向上伸性，這種作用亦可以視爲植物對淹水狀態的一種適應，作物在淹水狀態下的反應可以歸納爲以下幾點 (Prasad, 1997)：(1)爲協助根部在缺氧情形下生長，作物細胞會增加縱向通氣空間，以增加氧存量，作物根系延伸生長。(2)根部產生的 ACC 被運移到幼芽，在芽部得到通氣情形下轉化成乙烯，因此而加促莖及葉的上偏性(epinasty)。(3)浸於水中的莖部因橫向細胞膨脹而肥大，增加通氣面積，有時會有根系形成。(4)一些水稻在浸水情形下，莖的節間部份會加增生長，以保持葉片維持在水面上，其他作物亦偶有同樣情形，在缺氧或零氧狀態下加速作物長高。(5)在持續浸水情形下，根部可能透過植物荷爾蒙傳送信息到莖葉部，這些信息引起葉片氣孔關閉，降低葉片擴張，產生上偏性，甚至葉片衰老。

以上述植物生理反應看淹水對作物的影響，可以發現作物在淹水初期會自行調適，若未至產生災害程度，莖葉部份會因而有不同的肥大或增高現象。在淹水時間較長後，才會作出降低葉片擴張或葉片衰老的反應，淹水與受災程度之間並無一定的必然關連。而遙測對作

物的量測，主要是以葉片的近紅外光及紅光的反射率爲作物是否健康及生物量的主要依據，葉片如何反映淹水所做成的災害，應找出一個可供客觀認定的指標。

農委會在 85~86 年間選擇 23 種蔬菜、15 種果樹 1 種花卉，調查各種作物的生長習性，界定其生長期，做爲災害發生時對照比較的基本資料。災害發生時則調查作物受損情形，將之拍照留存並與正常生長之資料比對，藉以分析受害率；並綜合各種不同的受害情況，分析不同程度的受害特性(農委會，1997)。

針對發生天然災害時比較容易受損的園藝類作物，本研究選擇西瓜、小白菜及莧菜等三種作物進行光譜量測。選定的原因爲(1)西瓜在生育期間最怕午後大雷雨及豪雨侵襲，尤其是颱風與暴雨；因爲西瓜作物遭受雨水衝擊與浸泡後，不但容易造成植株枯萎死亡，更會使西瓜果實品質劣化或腐爛。(2)小白菜爲淺根性葉菜類，除過度集中的豪雨衝擊會造成大量的葉面破裂受損外；降雨時若田間排水不良，則長久浸泡於水中的小白菜根部易窒息枯死。(3)莧菜作物的病蟲害雖然較少，但遇豪大雨侵襲時，葉部及根部容易受損；且大雨過後若土壤浸水與通風不良，亦容易發生莖腐病，導致整株莧菜枯萎。

因此，研究中除建立上述三種園藝類作物的正常與逆境環境的光譜資料庫外，亦參考農委會編印之園藝類作物天然災害損害率客觀指標，以供實驗田淹水試驗後的遙測光譜資料比對。研究使用兩種光譜感測器，第一種爲地面高光譜輻射儀 GER-3700，其掃描光頻範圍 331~2509 微米(*n*m)之間；其中光譜範圍可分爲 331~1084、989~1908 及 1909~2509*n*m 三個區間，取樣頻寬分別爲 1.5*n*m、6.5*n*m 及 9.5*n*m，共有 704 個波段。第二種爲多光譜影像儀(Duncan MS3100/CIR)，除可見光外，亦可量測地面近紅外影像(表 1)。

(二)西瓜受淹水災害的光譜反應

西瓜作物試驗農田的地理中心位置位於 TWD67 二度分帶坐標 E=215,500m，N=2,701,958m 上，面積約爲 0.12 公頃，四週大都種植水稻。西瓜作物試驗研究的種植方式採春作方式，品種選用華寶大型西瓜，收成時可達 10~20 台斤。爲避開幼苗生長時遭受寒害，於 90 及 91 年之 4 月間將西瓜幼苗移植至試驗田中，栽種過程以一般的栽培方式定期施肥、除草、修藤及施藥，使其一切生長儘量正常化。在 1.2 分地的試驗農田中，共規劃了 9 條瓜畦，其間栽種了 600 多棵西瓜苗。西瓜試驗田自 4 月移植至 5 月中開始開花結果時，其間皆無遇到豪大雨或颱風的侵襲；因此，於 5 月 30 日選取半畦的西瓜田進行人工淹水試驗，淹水時間超過 12 小時。不過以人工淹水方式並無法立即獲得災害所需的資料。反而在淹水後的二星期，試驗田區發生一場午後大雷陣雨，不但使人工淹水的西瓜完全枯乾死亡(損害率 100%)，並造成大半的西瓜莖蔓枯萎(損害率 50~80%)。

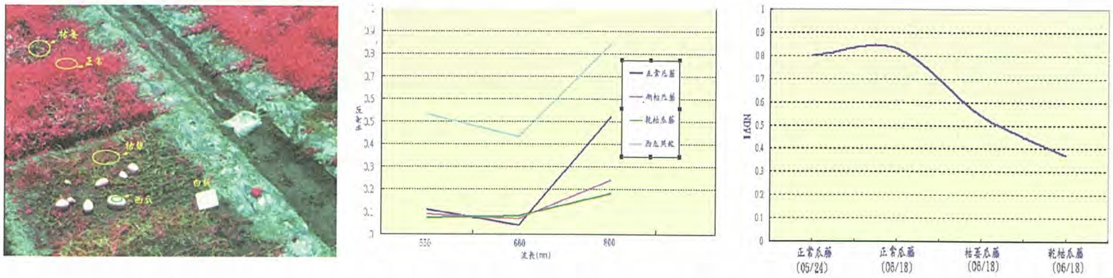
表 1. 感測器特性及各波段光譜範圍。

GER-3700 地面光譜輻射儀			DUNCAN MS3100-CIR 近紅外成像儀		
感測器型態	波長範圍	取樣頻寬	波段	中心波長	頻寬
512 Si	331~1084 *n*m	1.5 *n*m	Green	550 *n*m	40 *n*m
128 Pbs	989~1908 *n*m	6.5 *n*m	Red	660 *n*m	40 *n*m
64 Pbs	1909~2509 *n*m	9.5 *n*m	IR	800 *n*m	65 *n*m
GER-3700 總共具有 704 個波段數；感測器型態均爲陣列方式。			DUNCAN MS3100-CIR 拍攝的影像大小爲：1392(pixels)*1039(lines)		

針對西瓜作物試驗農田，本研究蒐集的遙測資料包括空載多譜掃描影像、GER3700 地面反射光譜、DUNCAN 紅外光成像影像及現地照片等，並配合直昇機載影像系統以 DUNCAN 紅外光成像儀進行攝像。本文以下只對紅外光成像儀之結果進行討論，Duncan MS3100/CIR 地面近紅外成像儀可同時攝取近紅外光、紅光及綠光三個波段的影像資料，所以地面近紅外影像乃針對這三個波段進行分析。另外近紅外光影像的像幅大小雖然爲 1392(pixels) *1039(lines)，但在距離地面約 15 公尺的地方拍攝影像，其空間解像力爲公分級，所以每幅影像的地面涵蓋範圍約只有 20 平方公尺。因此，分析時要將整幅影像視爲一個單元，並取各波段的波譜反射值平均代表之。

拍攝所得的地面近紅外影像光譜亮度值，會受到不同時間的大氣條件所影響。因此攝像時需於同步攝取標準白板的光譜反射資料，再藉由已經過濾定的近紅外影像與標準白板的比值，換算成各波段的反射率，並計算 NDVI 植生指數值。西瓜試驗田生育期間共進行三次量測，分別是在 4 月 27 日及 5 月 24 日進行正常生長監測及在 6 月 18 日進行災害監測。

圖 1 爲西瓜藤蔓淹水後不同受災程度之地面近紅外影像光譜反射率曲線比較圖；顯示正常生長、淹水試驗後逐漸枯萎到乾枯的西瓜田，反應在地面近紅外影像的光譜反射率是逐漸降低的，如乾枯時的光譜反射率與裸露土就極爲近似，且在近紅外光段的光譜反射率就明顯偏低。將各時期光譜反射率資訊轉換爲 NDVI 植生指數，正常生長西瓜莖蔓爲 0.85，漸枯萎的藤蔓 NDVI 值降爲 0.54，藤蔓乾枯時的 NDVI 降至 0.37。光譜反射資訊證實嚴重淹水受害區瓜田的 NDVI 植生指數均有明顯降低現象。



a.現場近紅外光影像　b.不同受災程度光譜反射率　c.不同淹水受災區NDVI曲線

圖 1. 西瓜藤蔓淹水後不同受災程度之光譜反射率曲線圖。

(三)小白菜受淹水災害的光譜反應

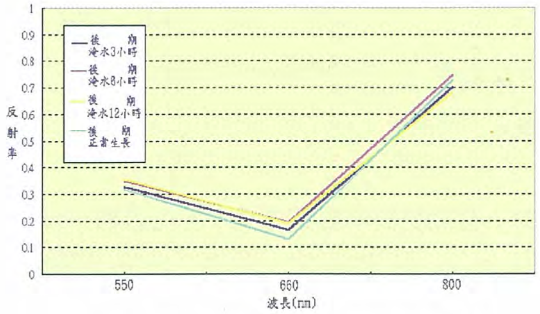
小白菜的田野試驗區原本選在竹北市市民農園內的一塊約一分地農田上，但實際整地播種後，由於雜草叢生及蟲害(粉蝶)相當嚴重，加上生長期短，不易在控制條件下獲得完整的遙測資料。本研究乃改以盆栽方式種植小白菜，並設計淹水試驗，以獲取完整的遙測資料。盆栽種植小白菜方式，首先選購 12 個長 61 公分、寬 36 公分、高 25 公分的休閒蔬菜培植盆；其中 10 個用來進行試驗，2 個作爲備份用。此培植盆的特色爲盆底有一栓孔，可用來堵住排水進行淹水試驗。小白菜盆栽耕種，在 6 月 8 日首先將土白菜種仔播撒於 12 個培植盆內，2~3 天後發芽，每天早晚固定澆

水。除施以基肥外，每週亦施放液體肥料，並儘量控制其生長條件一致。為使小白菜發育正長，當小白菜成長約 1 星期後，視其生長密度，施以間距約 5~10 公分的間拔。

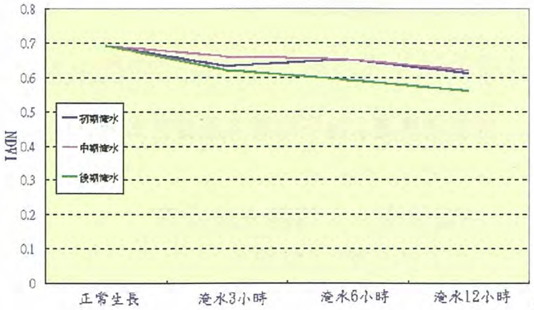
在小白菜 30 天的生長過程中，安排三次的淹水試驗，以獲取小白菜淹水受創的遙測資料，分別於生長初期、中期及採收期，每一次淹水試驗又分為淹 3 個小時、淹 6 個小時及淹 12 個小時等 3 個控制條件。每一次淹水試驗時，為能獲取最佳的遙測資料，必需有晴朗無雲的天氣配合，最後所選定的淹水日期分別為 6 月 26 日、7 月 2 日及 7 月 9 日，並於淹水後的隔日進行遙測資料蒐集。

小白菜盆栽淹水試驗所蒐集到的遙測資料包括有 GER3700 地面反射光譜、DUNCAN 地面近紅外光影像、植株高度及現地照片等，其中 GER3700 所獲得資料較為完整，可看出小白菜在不同生長階段及不同淹水等級下的反射率變化。小白菜在初期生長時受淹水的影響，比較容易顯示在光譜反應上，到了後期，葉面的衝擊破壞力比淹水來的重要；而晚期淹水所產生的破壞比較大。圖 2 為小白菜後期不同淹水條件下之光譜反射率圖，可以看到反射光譜上在後期則沒有一定的規則產生，這可能與小白菜的受損率只有 5~20%有關。若從 NDVI 的角度來看，將光譜資訊轉換為 NDVI 植生指數後，正常小白菜植冠光譜資料換算的 NDVI 值為 0.6(初期)、0.65(中期)、0.67(後期)，當淹水過後，NDVI 值的變化，沒有一定的規則可尋，不過仍有略為降低的趨勢，但不明顯，應與受災程度不嚴重有關。

a. 現場近紅外光影像



B.不同淹水條件之光譜反射率曲線



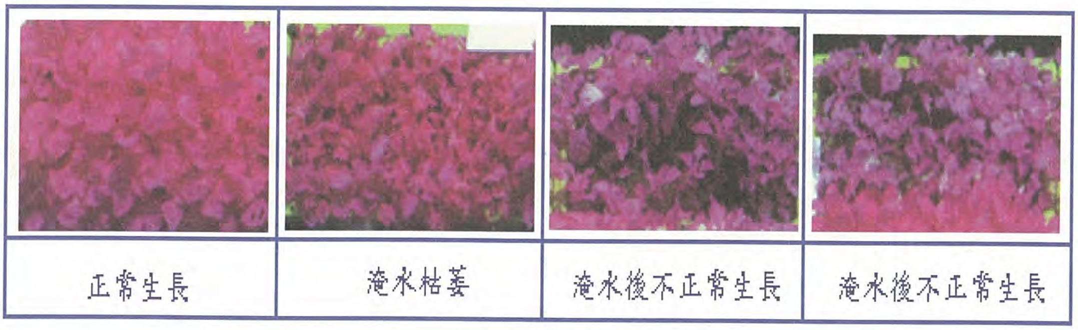
c.不同淹水受災區的NDVI曲線分佈

圖 2. 小白菜後期淹水後不同淹水條件之光譜反射率曲線比較圖。

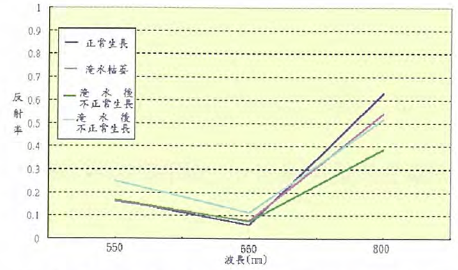
(四)莧菜受淹水災害的光譜反應

由於莧菜的生長期在夏季只有 20 天左右，比小白菜還短，因此莧菜淹水試驗田的設置仍採用與小白菜試驗相同之盆栽方式栽培莧菜作物，所使用的栽培盆與安置地點都與小白菜一樣。本試驗莧菜的盆栽耕種，於 90 年 8 月 14 日將青莧種仔播撒於 12 個培植盆內，2~3 天後開始發芽，每天早晚固定澆水。除施以基肥外，每週亦施放液體肥，並儘量控制其生長條件一致。爲使莧菜發育正長，當莧菜成長約 1 星期後，由於株距密度過高，施以間距約 5~10 公分的間拔。爲獲取莧菜因淹水受創之遙測光譜資料，在莧菜 20~30 天的生長過程中，原先與小白菜一樣安排三次的淹水試驗，分別於生長初期、中期及採收期，每一次淹水試驗仍分爲淹 3 個小時、淹 6 個小時及淹 12 個小時等 3 個控制條件。但由於天候不能配合，整個八月底到九月初，連續熱帶低壓打斷原來的試驗規劃，最後只在 8 月 28 日完成一次淹水試驗。不過此次淹水有造成不同等級的淹水災害產生。

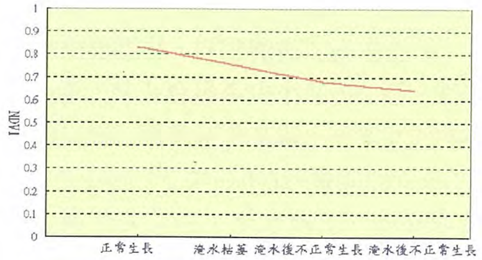
Duncan 近紅外光影像的結果如圖 3，圖中的三條正常生長光譜曲線(08/28)、(09/04)、(09/13)，其線形走勢一模一樣。至於不同受災程度的 Duncan 光譜反射曲線，正常光譜與受災光譜可明顯區分出來，不過枯萎的光譜與枯黃的光譜類似。將光譜資訊轉換爲 NDVI 植生指數後，正常生長莧菜爲 0.82，漸枯萎的 NDVI 值降爲 0.75，枯黃時的 NDVI 降爲 0.68，枯爛時則降爲 0.64 如圖 3 所示。光譜反射資訊證實不同層次的淹水受損情況下，莧菜的 NDVI 植生指數有明顯降低現象。



a. 現場近紅外光影像



b.不同淹水條件之光譜反射率曲線



c.不同淹水受災區的NDVI曲線分佈

圖 3. 莧菜淹水後光譜反射率曲線比較圖。

(五)三種作物不同受損率的比較

上述三種作物的淹水受損率可參照「園藝作物天然災害損害率客觀指標」加以判定，其中小白菜受損情況不嚴重，只有 5~20%損害率的資料，而且無完整的 DUNCAN 地面成像儀反射光譜資料。表 2 爲在不同受損率情況下的 NDVI 指數，由表中數字可發現，正常情形作物的 NDVI 指數約高於 0.7，損害率在 20~50%時，NDVI 約在 0.65~0.68 之間。若損害率嚴重至 50~80%時，NDVI 值降至 0.42~0.64 之間，損害率降低到嚴重的 80~100%時，NDVI 可能降低到 0.03。另外比較 DUNCAN 成像儀所得數值及 GER 輻射光譜儀所得數值，以前者較高，但兩者的高低變化趨勢一致。

利用上述光譜儀進行遙測數值多光譜資料的分析與比對，發現近紅外光波段的差異較大，由近紅外光及紅光所計算的正規化差異植生指數(NDVI)可作爲受損程度的指標，實驗數據亦顯示損害率愈高，NDVI 愈低(表 2)。

表 2. 作物在不同損害率情形之 NDVI 指數。

損害率	西瓜		小白菜	莧菜	
	GER	DUNCAN	GER	GER	DUNCAN
正常	0.56	0.85	0.7	0.81	0.82
5~20%	—	—	0.6	0.61	0.75
20~50%	—	—	—	0.65	0.68
50~80%	0.43	0.54	—	0.42	0.64
80~100%	0.03	0.37	—	—	—

(六)連續長期淹水對作物損害之光譜分析

爲瞭解作物在淹水受損時的完整光譜資訊，本研究另外對小白菜進行長期淹水試驗，以獲得淹水全程光譜資料，及作物凋萎時的 NDVI 指數變化過程。試驗以盆栽方式種植小白菜，首先將土白菜種仔播撒於 6 個培植盆內，2~3 天後發芽，每天早晚固定澆水。除施以基肥外，每週亦施放液體肥料，並儘量控制其生長條件一致。爲使小白菜發育正長，當小白菜成長約 1 星期後，視其生長密度，施以間距約 5~10 公分的間拔。在小白菜 30 天的生長過程之後期安排一次淹水至小白菜完全凋萎的淹水試驗。淹水試驗時，爲能獲取最佳的遙測資料，必需有晴朗無雲的天氣配合，淹水試驗共進行 48 小時，48 小時後開始排水並每一小時量測光譜一次。各時期蒐集到的 DUNCAN 影像，利用其紅外光及紅光波段計算正規化差異植生指數(NDVI)，各時期的實驗組與對照組的 NDVI 時間曲線則如圖 4。

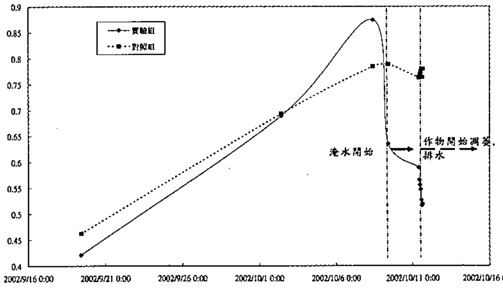


圖 4. 小白菜生長後期淹水 48 小時後 NDVI 曲線圖。

未淹水前小白菜之 NDVI 值與其他試驗值接近，幼苗期因有土壤混合像元在內，整體 NDVI 值較低約爲 0.45。在 28 天生育晚期時，葉面覆蓋率幾達 100%，NDVI 值亦達到最高約 0.8~0.85 之間。實驗組與對照組的變化斜率

接近，表示 Duncan 資料的反射率值可能因不同的太陽角或觀測角度改變，但 NDVI 值比較不變。

災損影響上，短時期淹水試驗之災損程度較輕，且淹水過後 NDVI 值的變化並無一定規則可尋，只呈現不明顯的降低趨勢。而且小白菜初期生長受淹水災害的影響較會反應在反射光譜上，到了中後期則沒有一定的規則產生，由此推斷小白菜在淹水 12 小時後仍能復元。但經 48 小時長時間淹水後，小白菜葉片已開始有凋萎現象，而且未再復元，反應在 NDVI 值上，則是由開始的 0.65，在排水後仍不斷下降至 0.5。

以上述的時間推論，小白菜受淹水災害在 12 小時以內，若能及時排水，作物仍能復元，不致發生淹水災害，但若淹水時間長至 48 小時，雖再排水作物亦無法回復，此種情況在颱風時因降雨時間長比較有可能發生，而淹水災害發生以後，NDVI 值亦即時產生改變。

三、機載攝像系統測試

(一)系統組成及系統特性

直昇機載影像系統分爲兩大部分：其一是直昇機載台，另一部份是 Duncan 近紅外成像儀。Duncan 近紅外成像儀之特性已在上節說明，而載具方面，本研究採用直昇機爲載台，希望藉由其靈活的滯空性能，攜載成像設備以獲取中/小面積特定地區的影像。系統定位於填補地面高層(如高空舉昇車)數十公尺以上至遙測飛機航高下限(約 1500 公尺)間之空檔，直昇機的機動性可以迅速趕往特性地點進行來回搜尋、停懸於數百公尺至數千(4000)公尺空中，並以近紅外成像儀獲取 0.26 毫弧度角解析力之影像，可以爲低解析大面積影像作定點查核，或爲地面地眞提供局部區域之空間分布調查。

輕型直昇機於遙測事務上有低設備維護與迅速動員就位的優點，在空域許可的情況下，自決定至機場升空可小於 30 分鐘，兩個小時內可以到達台灣大部分地區作業。懸翼振動的特性雖然使其不適合獲取高精度航照或以掃描儀攝像，但仍適合一般要求的攝影工作。但因輕型直昇機結合近紅外成像儀進行空中攝像作業，在台灣仍未有足夠經驗，相關的整合工作包含儀器測試、設備掛載、系統整合、觀測作業、影像處理等，以下分別說明實施作業時的設備整備及作業程序等工作。

(二)設備整備與待命

1.裝設程序表：

機場裝備裝載的過程略如圖 5 所示，Duncan 支架與直昇機連結，爲解決 Duncan 產生擺動，支架反側裝有支點固定。現有設計將 Duncan 與機身完全固定，沒有調整指向之功能，確實之影像覆蓋區完全以工業電腦之畫面爲準。工業電腦於直昇機上設置並不穩固，需另以支架固+定鍵盤與機體。並以電子地圖導引與 Duncan 類比視訊輸出至液晶顯示器以協助辨識影像。

2.機場待命方式：

機場待命無法列入標準程序，近場天候由航空公司約略估計可以派飛之後便開始執行起飛前整備，駕駛員啓動引擎後便連續向機場塔台與近場台(台中守望)查詢航線天候。不良天候之停飛時機應在凌天派飛前以中央氣象局資料協調決定。

a. 裝置成像儀支架

c.裝置電腦支架

e．完成後機體外觀

b. 裝設成像儀

d. 裝置電腦

f.操作人員

圖 5. 機載攝像系統裝設過程示意圖。

3.飛行前協調：

飛行前協調應包含計畫人員向駕駛員說明目標區方位、航線航高需求、地空協同內容、進場型態、飛航規劃表說明以及作業目標說明等，兩方取得共識之後需告知現地調查人員。飛航規劃表以電子地圖表現，利用地面規劃路徑與 GPS 定位標示可提供在空人員定位參考。

(三)機上攝像操作

1.工業電腦操作：

其他如鍵盤與軌跡板之手部定位與操作無礙；螢幕亮度可辨識；間歇出現之系統省能待機需取消，改以確認電瓶電力為延長操作時間手段。

2.Duncan 架設與指向：

測試中發現無法即時在影像中辨識目標區，只能以航跡通過推估。由於電腦畫面分配 Duncan 系統控制視窗與 NI 影像卡資料擷取品質檢視視窗，同時疊置影像畫面並不適合在空操作。計畫利用 Duncan 的類比視訊輸出，或加設監視器架設監看螢幕。對於目標定位，由於直昇機飛臨目標區上空時後座乘客無法目視下方目標，機身的搖擺亦直接改變指向，因此提高操作高度以獲取較高覆蓋面積安全係數是減少目標錯失的消極辦法。

3.航線、航向與定位：

直昇機由機場起飛至目標區軌跡需定位，在沒有航線規劃圖的情形下難以判定自身方位，應使用遙測軟體將 GPS 軌跡套疊在具有座標的底圖上，以作為輔助手段。基於領航、地物辨識的工作需要，可增加一位專職工作人員。

4.航高測量：

可利用直昇機利用氣壓計式高度計估計的相對高程(600 公尺、900 公尺及 1200 公尺，距地高)，或以 GPS 獲取絕對高程。另一方法是使用雷射測距儀，但需注意其有距離。